

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE PRODUÇÃO**

**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**

**Luciano Campanini**

**Orientador: Prof. Dr. Néocles Alves Pereira**

**SÃO CARLOS – SP**

**2013**

**LUCIANO CAMPANINI**

**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 apresentada ao Departamento de  
Engenharia de Produção da  
Universidade Federal de São Carlos  
como requisito para a obtenção do título  
de Doutor em Engenharia de Produção

**Orientador: Prof. Dr. Néocles Alves Pereira**

**SÃO CARLOS – SP**

**2013**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

C186gm 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 / Luciano Campanini. -- São Carlos : UFSCar, 2013.  
201 f.  
Acompanha Apêndice I em CD-ROM.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Gerenciamento de projetos industriais. 2. Corrente crítica. 3. *Fuzzy logic*. 4. Múltiplos projetos. 5. Pulmão de tempo. I. Título.

CDD: 658.575 (20<sup>a</sup>)

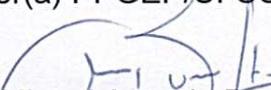


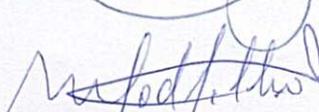
## FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno(a): Luciano Campanini

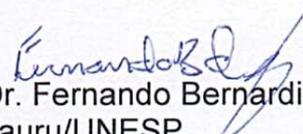
TESE DE DOUTORADO DEFENDIDA E APROVADA EM 18/06/2013 PELA  
COMISSÃO JULGADORA:

  
Prof. Dr. Neocles Alves Pereira  
Orientador(a) PPGE/UFSCar

  
Prof. Dr. Miguel Antonio Bueno da Costa  
PPGE/UFSCar

  
Prof. Dr. Moacir Godinho Filho  
PPGE/UFSCar

  
Prof. Dr. Antônio Freitas Rentes  
EESC/USP

  
Prof. Dr. Fernando Bernardi de Souza  
FEB-Bauru/UNESP

  
Prof. Dr. Mário Otávio Batalha  
Coordenador do PPGE

## DEDICATÓRIA

À minha esposa Vanessa por todo amor, paciência e companheirismo.

Aos meus pais Dorival e Maria Aparecida por me ajudarem sempre.

Aos meus irmãos Adriano e Lidiani por todo incentivo e amizade.

À minha avó Maria Tereza pelas orações que me acompanham.

Ao meu filho Miguel pelos momentos de grandes alegrias.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela saúde.

Especialmente ao Prof. Dr. Néocles Alves Pereira pela excelente orientação que me acompanha desde o Mestrado.

Aos Professores, Dr. Miguel Antonio Bueno da Costa, Dr. Moacir Godinho Filho, Dr. Fernando Bernardi de Souza e Dr. Antonio Freitas Rentes pelas importantes contribuições para conclusão do trabalho.

Ao Professor Dr. Jorge Oishi por todo apoio estatístico.

Ao Dr. Jean Carlos Domingos por toda orientação sobre Lógica *Fuzzy*.

Ao Dr. José Henrique Andrade pelo suporte construtivo da Tese.

Aos grandes companheiros da empresa onde trabalho: Renan Del Bel Russo, Antonio Carlos Vieira, Leonardo Augusto Scacchetti e Jadilson Astorino Marçola.

## RESUMO

Este estudo tem como foco o método de gerenciamento de projetos originado da Teoria das Restrições chamado de Corrente Crítica. A principal contribuição desta tese está na proposta de um método para cálculo de pulmão de tempo. Para isso, foram realizadas algumas revisões bibliográficas sobre metodologia de pesquisa, sistemas de produção, gerenciamento de projetos, Corrente Crítica e Lógica *Fuzzy*. Foi realizado também um estudo de caso em um ambiente de múltiplos projetos em uma empresa que trabalha com pedidos sob encomenda no segmento de Bens de Capital. Na literatura para cálculo de pulmão de tempo, foram identificados, além do método original “Cortar e Colar” proposto por Goldratt, outros quatro métodos: “Método da Raiz Quadrada do Erro”, “Procedimento Adaptativo com Densidade”, “Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso” e “Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro”. Na bibliografia considerada neste trabalho, não se observou nenhuma aplicação desses quatro métodos para cálculo de pulmão de tempo em ambientes de múltiplos projetos. Para a proposta de um novo método para cálculo de pulmão de tempo, foram consideradas 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. A Lógica *Fuzzy* foi utilizada para estabelecer um fator de ajuste do pulmão de tempo. Todos esses métodos foram simulados no ambiente de múltiplos projetos estudado e alguns indicadores foram comparados. Em geral, a aplicação da proposta para cálculo de pulmão de tempo utilizando a Lógica *Fuzzy*, além de permitir a utilização de um número maior de características específicas do projeto no dimensionamento dos pulmões de tempo, apresentou bons resultados em comparação com os demais métodos considerados neste trabalho.

**Palavras-chave:** Corrente Crítica, Gerenciamento de Projeto, Lógica *Fuzzy*, Múltiplos Projetos, Pulmão de Tempo.

**ABSTRACT**

*This study approach the Critical Chain Method. This method is the Theory of Constraints applied to project management. The main contribution of this thesis is to propose a method for determining buffer size. Some literature reviews were performed on research methodology, production systems, project management, Critical Chain and Fuzzy Logic. A case study in a multiple project environment in a company that works with engineering to orders in the segment of capital goods was done. At the literature for determining buffer size, were identified in addition to the original method "Cut and Paste Method" proposed by Goldratt, four other methods: "Root Square Error Method (RSEM)", "Adaptive Procedure with Density (APD)," Adaptive Procedure with Resource Tightness (APRT) "and" Improved Root Square Error Method (IRSEM)". In the literature considered in this work, there was no application of any of the Critical Chain method in cases of multiple projects, with these four methods for determining buffer size. For the proposal of a new method for determining buffer size, elaborated in this thesis, we considered five variables that influence the outcome of the contracts and thus integrate the formulation. They are: contractual penalty, profit margin, customer importance, project complexity and resource constraints. Fuzzy logic is used to establish an adjustment factor to determining the buffer size. All these methods were simulated in the environment of multiple projects studied and some indicators were compared. In general, the proposed of buffer size using Fuzzy Logic allows the use of a greater number of project specific characteristics to determining the buffer size and the results of applications were goods when compared with other buffer size methods considered in this literature.*

**Key Words:** *Critical Chain, Project Management, Fuzzy Logic, Multi-projects, Buffer Size.*

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	1
1.1. Contextualização .....	2
1.2. Objetivos.....	5
1.3. Justificativas .....	6
2. Metodologia de Pesquisa .....	8
2.1. Métodos e Modelos Científicos.....	8
2.2. Abordagens de Pesquisa .....	10
2.3. Procedimentos de Pesquisa.....	10
2.4. Procedimento usado neste Trabalho .....	12
3. Referencial Teórico .....	14
3.1. Sistemas de Produção .....	14
3.1.1. Introdução.....	14
3.1.2. Classificação de Sistemas de Produção .....	14
3.1.2.1. Produção por Projeto .....	16
3.1.2.2. Produção <i>Jobbing</i> .....	17
3.1.2.3. Produção por Lotes ou Bateladas .....	17
3.1.2.4. Produção em Massa .....	17
3.1.2.5. Produção Contínua.....	18
3.2. Projeto.....	18
3.2.1. Gerenciamento de Projetos.....	19
3.2.2. Áreas de Conhecimento.....	21
3.2.2.1. Integração do Projeto .....	21
3.2.2.2. Escopo do Projeto .....	21
3.2.2.3. Tempo do Projeto .....	21
3.2.2.4. Custos do Projeto .....	22
3.2.2.5. Qualidade do Projeto .....	22
3.2.2.6. Recursos Humanos do Projeto.....	22
3.2.2.7. Comunicações do Projeto .....	22
3.2.2.8. Riscos do Projeto .....	23
3.2.2.9. Aquisições do Projeto .....	23
3.2.2.10. Partes Interessadas (Stakeholder) .....	23

3.2.3. Planejamento e Controle de Projetos.....	23
3.2.4 O gerenciamento de tempo nos Projetos .....	26
3.3. A Corrente Crítica .....	27
3.3.1. A Teoria das Restrições TOC.....	27
3.3.2. O Método dos Cinco Passos .....	29
3.3.3. O Procedimento da Corrente Crítica .....	29
3.3.3.1. Mecanismos de Proteção .....	30
3.3.3.2. Mecanismos de Desperdício .....	30
3.3.3.3. O Procedimento .....	32
3.3.4. Pulmões de tempo.....	35
3.3.4.1. Método Cortar e Colar ( <i>C&amp;PM</i> ).....	36
3.3.4.2. Método da Raiz Quadrada do Erro ( <i>RSEM</i> ) .....	37
3.3.4.3. Procedimento Adaptativo com Densidade ( <i>APD</i> ) .....	39
3.3.4.4. Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso ( <i>APRT</i> ) .....	41
3.3.4.5. Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro ( <i>IRSEM</i> ) .....	44
3.3.4.6. Monitoramento e Controle dos Pulmões .....	48
3.4. A Corrente Crítica em Múltiplos Projetos.....	52
3.4.1. Identificando a restrição no ambiente de Múltiplos Projetos .....	52
3.4.2. A priorização de projetos.....	53
3.4.3. A seleção do recurso tambor .....	53
3.4.4. A programação do recurso tambor .....	54
3.4.5. O Pulmão de Capacidade.....	54
3.4.6. Introduzindo novos projetos .....	55
3.5. A Lógica Fuzzy .....	55
3.5.1. Introdução .....	55
3.5.2. Conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	57
3.5.3. Variáveis Lingüísticas e Funções de Pertinência .....	59
3.5.4. Operações com Conjuntos <i>Fuzzy</i> .....	61
3.5.5. Sistema Lógico <i>Fuzzy</i> .....	63
3.5.6. Aplicação da Lógica <i>Fuzzy</i> .....	69
4. Caracterização da empresa estudada e do ambiente de simulação.....	76
4.1. A Empresa estudada e seus produtos.....	76
4.2. O Gerenciamento de Projetos na empresa estudada.....	76
4.3. Análise Crítica do Método de gerenciamento utilizado .....	78

4.4. Proposta para utilização do método da Corrente Crítica na empresa estudada...	78
4.5. A simulação no ambiente de Múltiplos Projetos .....	85
4.6. Os tempos da simulação .....	89
4.7. O monitoramento dos pulmões de tempo .....	92
5. O procedimento proposto .....	94
5.1. O procedimento da Raiz Quadrada do Erro com Lógica Fuzzy.....	94
5.2. A aplicação do procedimento proposto .....	108
5.2.1. Cenários considerados para aplicação do procedimento proposto.....	108
5.2.2. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 1 .....	111
5.2.3. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 2 .....	127
5.2.4. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 3 .....	135
5.2.5. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 4 .....	150
5.2.6. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 5 .....	155
5.3. O plano da simulação .....	156
6. Análise dos Resultados .....	162
6.1. Resultados das simulações relativas ao Projeto 1.....	162
6.2. Resultados das simulações relativas ao Projeto 2.....	164
6.3. Resultados das simulações relativas ao Projeto 3.....	165
6.4. Resultados das simulações relativas ao Projeto 4.....	166
6.5. Resultados das simulações dos Métodos no ambiente de Projetos .....	168
7. Considerações Finais .....	172
Referências .....	176
APÊNDICE – SIMULAÇÃO.....	183

## 1. Introdução

Para que as empresas sobrevivam é necessário que estejam cada vez mais preparadas para atrair novos clientes. Sua preparação está relacionada tanto com fatores externos, como sua imagem perante os concorrentes, quanto a fatores internos, como processos de planejamento, gestão e controle da produção ou serviços.

Este trabalho focou os fatores internos de uma empresa que trabalha com pedidos sob encomenda. Por se tratar de uma empresa de bens de capital e por não repetir a fabricação de um mesmo pedido, suas encomendas foram tratadas como projetos. Slack et al. (2002) definem um projeto como um conjunto de atividades que tem um ponto inicial e um estado final definidos, persegue uma meta definida e utiliza um conjunto definido de recursos.

Segundo Slack et al. (2002), empresas que estão em um ambiente de projetos podem se destacar perante os concorrentes investindo em técnicas e ferramentas de gerenciamento de projetos. Projetos são compostos por tarefas de grande escala e complexas, consomem grandes quantidades de recursos, gastam muito tempo para se completar e, geralmente, envolvem interações entre diferentes partes de uma organização. Sendo assim, quando um projeto é bem gerenciado permite bons resultados, apresentando produtos finais de qualidade, orçamento dentro do previsto e prazos de entrega cumpridos.

O Instituto de Gerenciamento de Projetos (*Project Management Institute* – PMI), um dos principais difusores dos procedimentos de gerenciar projetos, faz a divulgação de métodos convencionais baseados nas técnicas PERT/CPM, amplamente adotados por empresas que trabalham com gestão de projetos.

Neste trabalho, foi realizada revisão bibliográfica desses métodos convencionais de gerenciamento de projetos e, também, de uma técnica mais recente que realiza a gestão de projetos por meio de um procedimento chamado Corrente Crítica.

Além da revisão da literatura relacionada aos métodos de gestão de projetos, bibliografias sobre metodologias de pesquisa, sistemas de produção e Lógica *Fuzzy*, também foram exploradas nesta tese.

Após a revisão bibliográfica e apresentação da empresa onde o estudo foi realizado, foi apresentada uma proposta para o dimensionamento de pulmão de tempo

utilizando a Lógica *Fuzzy* e seu monitoramento com o uso da Corrente Crítica aplicada em um ambiente de múltiplos projetos.

Foram feitas simulações com os principais métodos para cálculo de pulmão de tempo considerados na literatura desta tese e com o método proposto. Em seguida, foram feitas as análises dos resultados e considerações finais. No final do texto, além das referências bibliográficas, no apêndice consta um exemplo referente às simulações realizadas neste trabalho. As demais simulações estão disponíveis em um CD que acompanha esta tese.

### **1.1. Contextualização**

A convivência do autor, por mais de uma década com problemas relacionados ao não cumprimento de datas contratuais, estouros de orçamento, alto estoque em processo, disputa pelos mesmos recursos e gerenciamento de vários projetos simultaneamente foi um dos fatores que motivou este estudo. Outros fatores como a falta de publicações relacionadas ao ambiente de múltiplos projetos e ao método da Corrente Crítica, reforçaram esta decisão.

O método de gerenciamento de projetos Corrente Crítica tem sido pouco utilizado pelas empresas. Essa baixa utilização pode ser justificada por se tratar de um método relativamente novo, pois foi apresentado por Eliyahu Goldratt em 1997. Por volta de um ano depois o autor Robert Newbold modelou as idéias de Goldratt para as práticas de gerenciamento de projetos em seu livro *Project Management in the Fast Lane*.

Paula et al. (2005) citam que, de acordo com o levantamento feito pela Goldratt Consulting, existiam no Brasil em torno de 20 empresas aplicando o método da Corrente Crítica com sucesso. Já, o método de gerenciamento de projetos PERT/CPM, que foi criado na década de 50, hoje é uma das práticas mais difundidas nas empresas que trabalham com produtos sob encomenda.

Nascimento (2007), ao comentar sobre empresas que fazem uso do método da Corrente Crítica no Brasil, reforça que por ser uma técnica relativamente nova, ainda é pouco utilizada neste país. Este autor comenta que o interesse sobre o assunto tem aumentado significativamente e pode ser observado por meio de publicações em revistas especializadas e na quantidade de cursos oferecidos sobre o tema.

Finocchio Jr. (2009) cita em seu trabalho que o uso prático do método da Corrente Crítica no Brasil é bastante restrito ainda e acrescenta que poucos projetos foram executados com base no método. No trabalho de Akkari (2009), o método da Corrente Crítica é abordado e detalhado, mas aplicações e quantificações relacionadas com este método em empresas brasileiras não são citadas.

Morais (2011) reforça a importância da utilização do método da Corrente Crítica como ferramenta de gerenciamento de projetos. Para isso, o seu trabalho tem como objetivo apresentar a aplicação do método da Corrente Crítica em duas empresas brasileiras e mostrar os ganhos obtidos com sua implantação.

No trabalho de Manhães (2011), além de algumas empresas internacionais, são mencionadas quatro empresas brasileiras que utilizam o método da Corrente Crítica como ferramenta de gestão em seus projetos.

Para Soler (2009), mesmo com a teoria e a simplicidade da técnica, não existem muitos casos de sucesso divulgados da aplicação do método da Corrente Crítica em empresas brasileiras devido à dificuldade de gestão ligada ao componente cultural.

Internacionalmente, publicações relativas ao método da Corrente Crítica vêm aumentando ao longo dos anos após a criação da teoria. Trabalhos como Leach (1999), Rand (2000), Steyn (2000), Umble e Umble (2000), Herroelen e Leus (2001), Steyn (2002), Wei et al. (2002), Emalghraby et al. (2003), Herroelen e Leus (2005), Tukul et al. (2006), Rabbani et al. (2007), Bevilacqua et al. (2009), Xie et al. (2010) mostram a importância desta teoria ao gerenciamento de projetos. Contudo, estes artigos direcionam o método da Corrente Crítica para um único projeto.

Poucos autores abordam a aplicação do método da Corrente Crítica em múltiplos projetos. Dentre eles se destacam: Herroelen e Leus (2001), Leach (2004), Cohen et al. (2004), Huang et al. (2012) e Yang e Fu (2013). Copatto (2006) reforça que a utilização do método da Corrente Crítica em ambientes de múltiplos projetos aparece apenas em alguns trabalhos publicados de origem estrangeira e publicações nacionais quase não existem. O trabalho de Moraes (2011) contribui com as publicações nacionais voltadas para ambiente de múltiplos projetos, uma vez que as duas empresas estudadas por este autor utilizam o método da Corrente Crítica para gerenciar um ambiente com vários projetos.

A gestão dos projetos por meio do método da Corrente Crítica é feita por monitoramento de pulmões de tempo, e em todo projeto gerenciado por Corrente Crítica se faz necessário dimensionar o seu ou os seus pulmões de tempo. Para isso, Goldratt

(1998) juntamente com a criação da teoria da Corrente Crítica, propôs o Método Cortar e Colar (*Cut & Paste Method – C&PM*). Newbold (1998) estabeleceu o Método da Raiz Quadrada do Erro (*Root Square Error Method – RSEM*). Tukul et al. (2006) criaram mais duas alternativas para calcular o tamanho do pulmão de tempo, sendo uma por meio do Procedimento Adaptativo com Densidade (*Adaptive Procedure with Density – APD*) e a outra por meio do Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (*Adaptive Procedure with Resource Tightness – APRT*). Xie et al. (2010) contribuíram com Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (*Improved Root Square Error Method – IRSEM*).

Cada um dos métodos citados no parágrafo anterior tem suas especificidades consideradas para o dimensionamento de pulmões de tempo. Goldratt (1998) e Newbold (1998) focam nas incertezas das atividades, Tukul et al. (2006) e Xie et al. (2006) consideram também a complexidade do projeto e a escassez ou grau de restrição de recursos.

Para o método de cálculo de pulmão de tempo proposto neste trabalho foi interessante considerar outras particularidades dos projetos além de sua complexidade e escassez de recurso. As outras características importantes para os projetos deste estudo de caso estão relacionadas com o aspecto financeiro dos projetos (muita contratual e margem de lucro) e a importância do cliente. Pelo fato destas características apresentarem aspectos qualitativos, além das incertezas envolvidas nos projetos, optou-se por utilizar a Lógica *Fuzzy* no dimensionamento dos pulmões de tempo para o método proposto.

Long e Ohsato (2008) fizeram uso da Lógica *Fuzzy* para resolver problemas de programação de projetos em função das restrições de recursos e incertezas. Chen e Hsueh (2008) aplicaram ferramentas da Lógica *Fuzzy* vinculadas à programação linear para análise de caminho crítico envolvendo incertezas das atividades. Bhaskar et al. (2011) estabeleceram a proposta de um método heurístico para resolver problema de programação de projetos com restrição de recurso usando Lógica *Fuzzy* para lidar com as incertezas nas atividades. Chang e Lee (2012) combinaram a aplicação da Lógica *Fuzzy* e análise de dados para seleção de projetos com o propósito de não ultrapassar o limite de recursos de capital. Xu et al. (2012) aplicaram a Lógica *Fuzzy* para lidar com as incertezas relacionadas aos custos de grandes construções.

Wong e Lai (2011) realizaram uma pesquisa *survey* sobre aplicação da Lógica *Fuzzy* no gerenciamento da produção e operações durante o período de 1998 a

2009. As principais áreas de utilização da Lógica *Fuzzy* detectadas por estes autores foram: Planejamento da capacidade, Controle de estoque, Projeto do produto, Programação, Layout de instalações, Manutenção, Controle de qualidade, Distribuição, Desenvolvimento de processos, Gerenciamento de projetos, Meio ambiente, Escolha de processo e planejamento da qualidade, Previsão e Compra.

A Figura 1.1 exibe a quantidade de publicações que abordaram a Lógica *Fuzzy* desde 1998.

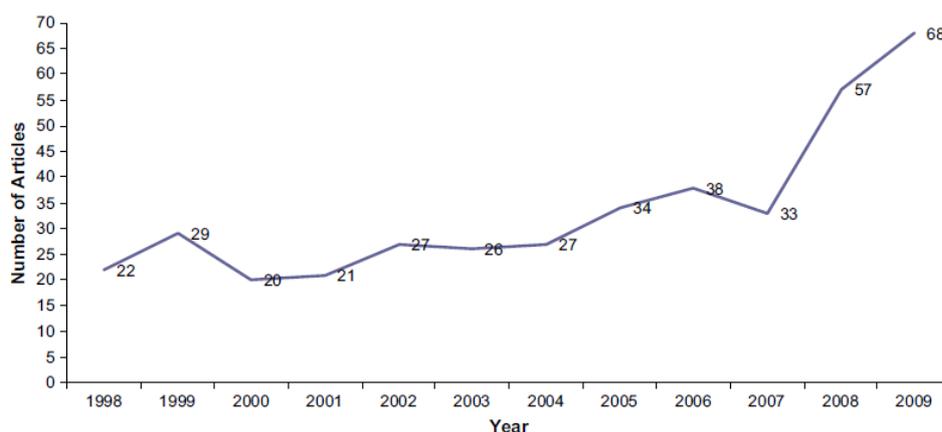


Figura 1.1: Publicações que abordaram Lógica *Fuzzy*

Fonte: Wong e Lai (2011)

Como pode ser observado na Figura 1.1, a quantidade de publicações que abordaram Lógica *Fuzzy*, apresentaram um crescimento considerável entre os anos de 1998 e 2009.

## 1.2. Objetivos

O objetivo desta tese é propor um método para cálculo de pulmão de tempo aos projetos gerenciados por meio da Corrente Crítica.

A proposta desse novo método é combinar o método da Raiz Quadrada do Erro, proposto por Newbold em 1998, com a Lógica *Fuzzy* resultando em um fator de ajuste que possibilite o dimensionamento dos pulmões de tempo.

Esse objetivo principal pode ser desdobrado em quatro objetivos específicos:

- O primeiro é exemplificar numericamente os principais métodos existentes na literatura relacionados ao dimensionamento de pulmão de tempo.

- O segundo objetivo específico é demonstrar a aplicação da Lógica *Fuzzy* em cinco cenários elaborados para o estudo de caso, facilitando assim a compreensão do método proposto.

- O terceiro é a simulação da aplicação desses métodos em um ambiente de múltiplos projetos utilizando o software “R” para gerar os números aleatórios e o “Excel” para realizar os cálculos.

- O quarto é comparar o procedimento proposto com os principais procedimentos publicados na literatura em relação ao tempo de execução dos projetos.

### **1.3. Justificativas**

A pesquisa bibliográfica foi realizada em variadas fontes de dados como, congressos (ENEGEP, SIMPEP e SIMPOI), revistas (Gepros, Gestão&Produção, Mundo PM, Produção e Produção online), sites de busca (Capes, Emerald, Google, Google Acadêmico e Science Direct, o qual direciona para jornais como: *International Journal of Project Management*, *International Journal of Production Economics*, *Journal of Operations Management*, *European Journal of Operational Research*, *Expert Systems with Applications*, *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications* entre outros) e universidades (ITA, MIT, UFRGS, UFRJ, UFSC, UFSCar, UNESP-FEP, UNICAMP e USP-EESC). A maior parte das publicações encontradas acerca de múltiplos projetos e o método da Corrente Crítica adota uma visão exclusivamente teórica, ou seja, poucos textos encontrados evidenciam experiências práticas implantadas ou simulações numéricas.

Pretende-se com este trabalho além de contribuir cientificamente com o preenchimento de parte da lacuna relacionada com a falta de publicações sobre aplicações do método da Corrente Crítica, propor um novo método para cálculo de pulmão de tempo, além dos cinco principais métodos publicados e considerados na literatura desta tese que são: Método Cortar e Colar (*Cut & Paste Method – C&PM*); Método da Raiz Quadrada do Erro (*Root Square Error Method – RSEM*); Procedimento Adaptativo com Densidade (*Adaptive Procedure with Density – APD*); Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (*Adaptive Procedure with Resource Tightness –*

*APRT*); e Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (*Improved Root Square Error Method – IRSEM*).

E que esse novo método proposto para cálculo de pulmão de tempo, juntamente com a Corrente Crítica, possa ser usado como ferramenta de gerenciamento de múltiplos projetos em uma empresa de bens de capital para reduzir o não cumprimento de datas contratuais, estouros de orçamento e altos níveis de estoque em processo, além de melhorar a utilização dos mesmos recursos por diversos projetos.

## **2. Metodologia de Pesquisa**

Para o desenvolvimento desta tese foi realizada uma revisão literária caracterizada como pesquisa do tipo teórico-conceitual, acerca de Métodos e Procedimentos de Pesquisa, Sistemas de Produção, Gerenciamento de Projetos, Teoria das Restrições, Corrente Crítica e Lógica *Fuzzy*.

A metodologia de pesquisa é estabelecida com a escolha do método de pesquisa a ser utilizado no trabalho. É importante que a escolha do método seja coerente com o propósito do projeto, além de considerar as características e interesses do ambiente organizacional estudado.

Com base na revisão bibliográfica sobre metodologia de pesquisa, segue uma breve explanação sobre métodos científicos, modelos científicos, abordagens de pesquisa e procedimentos de pesquisa.

### **2.1. Métodos e Modelos Científicos**

Bryman (1989) faz uma caracterização da atividade denominada científica. Para ele, o termo científico é considerado como sendo vago e controverso, de modo que na mente de diversos estudiosos da área, este termo geralmente é descrito como uma técnica sistemática de investigação, coleta de dados e análise destes dados pesquisados em relação a um problema pré-formulado.

Segundo Alves (1995), a atividade científica busca soluções para problemas e lacunas existentes no referencial teórico. Ele ainda cita que, como forma de se chegar à ciência, é importante medir a natureza. Esta medição ocorre pela aplicação de instrumentos ou metodologia.

A definição de atividade científica, por Thiollent (1987), é dada como sendo as habilidades e conhecimentos necessários para poder orientar os pesquisadores em alguns caminhos, como no processo de investigação, seleção de conceitos, técnicas e tomadas de decisão.

Para Lakatos e Marconi (1995), a atividade científica pode ser definida como uma gama de atividades sistemáticas e racionais, visando conduzir a certo objetivo de forma mais segura e econômica, determinando assim, a estratégia a ser usada, apontando erros e ajudando nas tomadas de decisões que deverão ser feitas pelo cientista no decorrer de todo o trabalho.

Chalmers (1995) faz uma consideração mais abrangente para a atividade científica. Ele faz sua apresentação por meio do indutivismo, dedutivismo, falsificacionismo e teorias vistas como estruturas.

No indutivismo, o autor considera as generalizações a partir de uma quantidade finita de proposições de observações singulares para uma lei universal. De acordo com Chalmers (1995), para que tais generalizações aconteçam, as seguintes condições deverão ser atendidas: primeiro, o número de proposições de observação deverá ser grande o suficiente para formar a estrutura da generalização; segundo, as condições devem ser variadas para que repetidas observações sejam feitas; e terceiro, a lei universal derivada da primeira não deverá ter uma proposição de observação conflitante.

No dedutivismo, Chalmers (1995) cita que para se chegar em soluções ou resultados, o ponto de partida é generalizações ou leis universais existentes.

A busca por resultados no falsificacionismo está em substituir teorias existentes através de testes de observações e experimentos que comprovem falhas ou falsidades em seu conteúdo. De acordo com Chalmers (1995), no falsificacionismo, uma teoria nunca será completamente verdadeira, pois a teoria atual é superior à sua antecessora, no entanto, ainda poderá ser superada por uma nova teoria.

Nas teorias vistas como estruturas, segundo Chalmers (1995), existe a consideração do contexto histórico. Sendo assim, a busca por soluções defende que os conceitos somente podem ser definidos ou gerados em termos de outros conceitos já existentes. Com isso, os novos conceitos só terão um sentido preciso se partirem de uma teoria coerentemente estruturada.

De acordo com Alves (1995), a principal vantagem de utilizar modelos científicos está em permitir a simulação do real, de modo que fique limitado a determinadas condições estabelecidas. A ciência fornece modelos hipotéticos e provisórios, e não cópias do real. É importante a utilização de modelos na ciência para o estabelecimento de uma ordem, sobre a qual, futuramente será verificada se uma teoria terá o comportamento como previsto no modelo.

Zilbovicius (1997) alerta para a dificuldade de se trabalhar com modelos. Segundo este autor quando o modelo é o objeto central de análise, não há objetos concretos, empíricos para serem identificados, mensurados ou descritos. Com isso se torna difícil estabelecer o recorte dos dois objetos que se interconectam, ou seja, o modelo e a prática.

## 2.2. Abordagens de Pesquisa

As abordagens de pesquisa podem orientar o processo de investigação e, segundo os autores Bryman (1989), Creswell (1994) e Freitas et al. (2000), a pesquisa pode ser classificada como qualitativa ou quantitativa.

Para Creswell (1994), a pesquisa qualitativa não visa generalizações, pois, nesta abordagem a realidade acaba sendo construída pelos indivíduos envolvidos na pesquisa, durante a qual ocorre uma interação entre o pesquisador e o estudo.

Esse tipo de pesquisa, segundo Bryman (1989), enfatiza a perspectiva do elemento que está sendo estudado, procurando entender o ambiente no qual está inserido. Isso ocorre por meio da observação e interpretação do objeto de estudo.

De acordo com Creswell (1994), a abordagem quantitativa se origina de um problema verificado, seguido da elaboração de uma teoria e da formulação de variáveis. Esta teoria poderá ser generalizada ou não por meio de medições e procedimentos estatísticos. Na pesquisa quantitativa o pesquisador permanece distante daquilo que está sendo pesquisado. Independente do ponto de vista do pesquisador, a realidade é vista de forma objetiva. Este tipo de pesquisa tem a intenção de criar generalizações.

Nesta abordagem Bryman (1989) cita que há geração de hipóteses que podem ser medidas a partir das teorias. As hipóteses geradas devem ter declarações que evidenciam uma relação de causa e efeito para que as variáveis dependentes e independentes da pesquisa sejam demonstradas. Para ele, esta abordagem possui um caráter exploratório.

## 2.3. Procedimentos de Pesquisa

Para Bryman (1989), o procedimento de pesquisa é conceituado como sendo o principal orientador geral da investigação, o qual fornece uma estrutura que permite a coleta e a análise dos dados.

Ainda de acordo com Bryman (1989), os procedimentos de pesquisa mais adequados para pesquisas em organizações são divididos em: Pesquisa Experimental; Pesquisa de Avaliação (*survey*); Pesquisa-Ação; Estudo de Caso.

A pesquisa experimental, segundo Berends e Romme (1999), é utilizada quando se pretende desenvolver e testar modelos. Pode ser aplicada nas ciências sociais

e os modelos podem ser matemáticos ou físicos. A explicação do assunto estudado acontece por meio da manipulação e controle das variáveis em questão.

Para Freitas et al. (2000), a pesquisa *survey* é utilizada quando se pretende produzir descrições quantitativas de uma população. Neste procedimento, a investigação ocorre através de questionários e entrevistas objetivas e bem estruturadas, ou seja, não existe a intervenção do pesquisador na investigação.

De acordo com Forza (2002), este procedimento é o mais adequado para pesquisas em gestão da produção que necessitam de informações claras, cuidados na seleção da amostra, métodos confiáveis nas etapas da pesquisa e conhecimento nas discussões acerca das generalizações dos resultados.

Freitas et al. (2000), acrescentam que este procedimento é o mais indicado para identificar “o que está acontecendo” ou “como e por que isso está acontecendo”.

Thiollent (1997) caracteriza a pesquisa-ação pelo seu caráter participativo, por possibilitar a integração entre os participantes da pesquisa e os próprios investigados. O autor complementa citando que a pesquisa-ação não fica restrita à descrição de situações e, ainda se encarrega de criar acontecimentos, os quais propiciam mudanças no sistema considerado.

De acordo com Yin (2002), o estudo de caso é utilizado como estratégia preferida quando os pesquisadores procuram responder questões do tipo “como” e “por que” determinados fenômenos ocorrem. O autor cita ainda que este procedimento é uma forma de pesquisa empírica e visa a investigação de fenômenos contemporâneos considerando o contexto real do fenômeno estudado.

Geralmente, este procedimento é aplicado quando as fronteiras entre o contexto e o fenômeno não são muito bem definidas. Por apresentar maior foco na compreensão dos fatos do que propriamente na sua mensuração, ele se encaixa numa abordagem qualitativa (YIN, 2002).

O estudo de caso, segundo Yin (2002) não é apenas uma técnica não estruturada de coletar dados e sim, uma estratégia de pesquisa completa. Este procedimento de pesquisa é utilizado normalmente quando o pesquisador não pode manipular as características relevantes do objeto em estudo. Este procedimento pode ser aplicado também em situações que existem mais variáveis de interesse do que dados disponíveis sobre o assunto a ser estudado.

Voss et al. (2002) citam que entrevistas, observações, conversas informais e a coleta de dados em arquivos são os principais instrumentos utilizados nos estudos de caso.

#### **2.4. Procedimento usado neste Trabalho**

De acordo com Miguel (2007), a justificativa da importância metodológica de um trabalho pode ser a necessidade de um embasamento científico adequado. Para ele, isto geralmente é caracterizado pela busca da abordagem de pesquisa adequada para endereçar as questões da pesquisa, juntamente com seus métodos e técnicas necessários para seu planejamento e execução.

Dessa forma, para a realização deste trabalho, foram utilizados dois dos procedimentos de pesquisa apresentados. O primeiro é o Estudo de Caso, que foi aplicado na investigação dos fenômenos para melhor compreensão dos fatos e variáveis inerentes aos projetos que foram estudados. Este primeiro procedimento vislumbra uma abordagem qualitativa.

O segundo procedimento utilizado neste estudo, já voltado para uma abordagem quantitativa, é a pesquisa experimental que foi aplicada no desenvolvimento e realização da simulação, além do controle e manipulação das variáveis para aplicação da teoria em estudo.

A simulação, de acordo com Shannon (1975), consiste no processo de desenvolver um modelo que represente um sistema real. Segundo este autor, por meio deste modelo, pode-se realizar experimentos que permitam a compreensão do comportamento deste sistema.

Banks (1998) acrescenta que a simulação pode ser uma imitação da operação de um processo ou sistema do mundo real. Para ele a simulação envolve a geração e observação de um fato suposto sobre um sistema para descobrir as inferências no sistema real analisado.

O maior benefício da utilização da simulação em ambientes de manufatura, segundo Law e Kelton (2000), é permitir que os gestores do processo obtenham uma visão global dos efeitos das mudanças sugeridas ao sistema em estudo. Algumas vantagens mais são citadas por estes autores:

- Sistemas complexos que não podem ser analisados por meio de modelos matemáticos, podem ser feitos através da simulação;

- A simulação permite avaliar o desempenho de um sistema existente perante algumas condições propostas;
- As análises de projetos de sistemas alternativos, podem ser avaliadas com a utilização da simulação;
- Na simulação é possível manter um melhor controle sobre as condições experimentais.

Law e Kelton (2000) ainda citam que para iniciar a modelagem de uma simulação é necessário que o analista conheça o sistema a ser modelado. Segundo eles, para se conduzir um estudo de simulação não há regras específicas, porém as etapas seguintes são recomendadas como orientação: Planejamento do Estudo, Definição do Sistema, Construção do Modelo, Condução dos Experimentos, Análise dos *Outputs* e Elaboração do Relatório dos Resultados.

### **3. Referencial Teórico**

O referencial teórico deste trabalho está dividido em cinco partes que são apresentados nas próximas seções deste capítulo e são caracterizados por meio dos seguintes títulos: Sistemas de Produção, Gerenciamento de Projetos, A Corrente Crítica, A Corrente Crítica em Múltiplos Projetos e A Lógica *Fuzzy*.

#### **3.1. Sistemas de Produção**

Nesta seção são apresentados alguns conceitos relacionados aos tipos de sistemas de produção e sua classificação, além dos procedimentos tradicionais de planejamento e controle da produção. Primeiramente, é apresentada uma abordagem sobre sistemas e em seguida conceitos sobre tipologias de sistemas de produção.

##### **3.1.1. Introdução**

Slack et al. (2002) citam que um sistema é composto por três elementos básicos sendo eles, as entradas (*inputs*), os processos de transformação e as saídas (*outputs*). Segundo o autor, os *inputs* são os insumos do sistema, que formam o conjunto de todos os recursos necessários para dar início aos processos de transformação.

De acordo com Slack et al. (2002) esses *inputs* podem ser classificados em recursos transformados e recursos de transformação. Os recursos transformados podem ser materiais, informações e consumidores. Os recursos de transformação agem sobre os recursos transformados e são divididos em funcionários e instalações. Já, os *outputs* são os resultados dessa transformação, ou seja, produtos manufaturados, informações fornecidas e serviços prestados.

Um sistema de produção segundo Maccarthy e Fernandes (2000) pode ser definido como sendo um conjunto de elementos (humanos, físicos e procedimentos gerenciais) inter-relacionados que são projetados para gerar produtos finais, cujo valor comercial supere o total dos custos incorridos para obtê-los.

##### **3.1.2. Classificação de Sistemas de Produção**

Para Tubino (1997) a classificação dos sistemas de produção se justifica por facilitar o entendimento das características que compõem cada sistema de produção e sua relação com as atividades de planejamento e controle desses sistemas.

Algumas formas de classificação dos sistemas de produção podem ser estabelecidas em relação aos métodos e processos de produção. Dentre elas, destacam-se algumas classificações descritas por Woodward (1977), Russomano (1989), Tubino (1997), Maccarthy e Fernandes (2000) e Slack et al. (2002).

Woodward (1977), ao pesquisar várias empresas, notou que havia a necessidade de criar uma forma de classificação para os sistemas produtivos, uma vez que as empresas estudadas, além de objetivos e políticas de produção semelhantes, tinham processos de fabricação similares. Em um estudo que começou em 1953, Woodward e seus pesquisadores classificaram inicialmente os sistemas de produção de acordo com quatro tipos de sistema de produção sendo eles, produção unitária e de pequenos lotes, produção em grandes lotes e em massa, produção em processo e sistemas combinados de produção.

Já, Russomano (1989) utiliza a classificação de sistemas de produção elaborada em consenso com os pioneiros da administração. Essa classificação se refere a dois tipos básicos de produção desdobrados em três. O primeiro é produção contínua e o segundo é produção intermitente que é dividida em produção repetitiva ou em série e produção sob encomenda.

Para Tubino (1997), a classificação de sistemas de produção, é proposta de três maneiras: pela natureza dos produtos, pelo grau de padronização dos produtos e pelo tipo de operação realizada. O autor cita que pela natureza dos produtos, os sistemas de produção podem estar relacionados com a geração de bens ou de serviços. Pelo grau de padronização dos produtos, são os sistemas que fabricam produtos padronizados e os sistemas que fabricam produtos sob medida.

Pelo tipo de operação, Tubino (1997) associa a classificação ao grau de padronização dos produtos e ao volume de produção, dividindo os sistemas de produção em dois grandes grupos: processos discretos, que envolvem a produção de bens e serviços podendo ser isolados em lotes ou unidades e, processos contínuos, que são empregados quando existe alta uniformidade na produção de bens e serviços.

Uma classificação para os sistemas de produção com base no volume de produção e variedade de produto é apresentada por Slack et al. (2002). Tal classificação é dividida com base em cinco tipos de processo, sendo o primeiro, processos de projeto, o segundo, processos de *jobbing*, o terceiro processos em lotes ou bateladas, o quarto processos de produção em massa e em quinto e último aparece os processos contínuos.

### 3.1.2.1. Produção por Projeto

Este tipo de sistema, para Slack et al. (2002), trabalha com produtos discretos e muito customizados. Sua principal característica, relacionada à produção, é o baixo volume e a alta variedade. Geralmente, o período de tempo para fabricar o produto ou realizar o serviço é relativamente longo. As atividades relacionadas à execução do produto ou serviço podem ser mal definidas e até mesmo incertas, podendo ocorrer modificações ao longo do projeto. A principal característica desse sistema é que cada trabalho tem início e fim bem definidos.

Para Sipper e Bulfin (1997), no sistema de produção por projeto, planejar, programar e controlar são considerados conceitos fundamentais para a gestão do projeto. Ao planejar são definidos os objetivos e as atividades do projeto. Em seguida é estabelecida a rede de atividades e assim é feita a programação para que cada atividade tenha seu início e sua duração definidos. Dessa forma é possível identificar as atividades críticas do projeto, as quais não podem sofrer atraso, pois refletirá no final do projeto. O controle é feito sobre o avanço das atividades do projeto para identificar qualquer necessidade de reprogramação das atividades.

Para estimar o prazo de entrega provável de um pedido, Corrêa et al. (1997) apresentam duas maneiras que minimizam o replanejamento e a reprogramação das atividades. O primeiro é tomar como base o tempo médio de entrega de pedidos semelhantes feito em um passado recente. O segundo é simular a passagem dos pedidos, considerando as datas de entrega dos materiais comprados, os roteiros de produção dos produtos, seus tempos de produção em cada operação e a disponibilidade dos recursos.

Geralmente os projetos apresentam alta complexidade, tornando-se necessário identificar o relacionamento entre as atividades. Slack et al. (2002) sugerem o método do Caminho Crítico (CPM – *Critical Path Method*) para modelar o projeto, esclarecendo os relacionamentos entre as atividades.

Segundo PMBOK (2004), no método CPM é feita uma única estimativa de tempo para cada atividade com base em uma rede de precedência elaborada para o projeto. Com os tempos definidos, este método é utilizado para identificar o caminho crítico do projeto que é a seqüência das atividades que não possuem folgas.

### **3.1.2.2. Produção *Jobbing***

Tanto o sistema de produção por projeto, quanto os processos de *jobbing*, segundo Slack et al. (2002), trabalham com variedade muito alta e baixos volumes. Neste tipo de sistema, os recursos de operação são compartilhados entre vários produtos. Seus lotes de fabricação ou serviço são pequenos, direcionados para atender uma necessidade específica dos clientes.

### **3.1.2.3. Produção por Lotes ou Bateladas**

Para a produção em lotes ou bateladas, o grau de variedade, segundo Slack et al. (2002) é menor que o *jobbing*. É caracterizada por um volume médio de bens ou serviços padronizados em lotes ou bateladas, possui um sistema produtivo flexível utilizando equipamentos pouco especializados e mão-de-obra polivalente. Enquanto os lotes estão sendo fabricados, algumas operações costumam se repetir.

Slack et al. (2002) complementam citando que, o que diferencia este tipo de sistema da produção em massa é a sua flexibilidade. Os lotes de produção podem ser produzidos uma única vez, ou a intervalos regulares de tempo, de modo que o produto flui de forma irregular de um centro de trabalho para outro. Os recursos utilizados na fabricação permitem grande facilidade para realizar mudanças tanto no produto como no volume de produção.

### **3.1.2.4. Produção em Massa**

Os processos de produção em massa, segundo Tubino (1997), são aplicados na produção de produtos padronizados em grande escala, com uma demanda estável e com pouca alteração nos projetos, podendo apresentar variação entre os produtos acabados somente na montagem final.

Tubino (1997) acrescenta que na produção em massa, geralmente as operações são repetitivas e os produtos fluem entre os postos de trabalho numa seqüência prevista, seguindo o mesmo roteiro de fabricação. As linhas de montagem são exemplos típicos deste tipo de sistemas como, por exemplo, a fabricação de automóveis.

### **3.1.2.5. Produção Contínua**

Para Slack et al. (2002), os processos contínuos estão a um passo da produção em massa, pois, operam em um volume maior de produção e apresentam um período longo de operação. Neste sistema o produto é fabricado por meio de uma série de operações, apresentando um único fluxo de transformação das matérias-primas em produtos acabados. Geralmente o estoque de matéria-prima e de produtos em elaboração é pequeno em relação à quantidade produzida.

Por ser altamente uniforme na produção e possuir alta eficiência em razão da facilidade de substituição do trabalho humano por máquinas, Slack et al. (2002), acrescentam que a produção contínua favorece a automação. Este tipo de produção pode ser exemplificado por indústrias químicas, petroquímicas, produtoras de açúcar e álcool, leite e sucos.

## **3.2. Projeto**

Casarotto et al. (1999), caracterizam um projeto como sendo um conjunto de atividades inter-relacionadas e visam um objetivo comum. Este projeto deve ser executado dentro de um prazo e custo estimados inicialmente.

A definição de projeto para Lewis (2000) é descrita como um trabalho único com início e término bem definidos, possui um escopo de trabalho estabelecido, e tem um orçamento e um nível de desempenho a ser atingido. Ele complementa que para ser caracterizado como um projeto, o mesmo deve ter mais de uma tarefa associada.

Goodpasture (2000) reforça na mesma linha de raciocínio que um projeto possui um conjunto de tarefas ou atividades único, que são interdependentes, não repetitivas e que são planejadas e executadas com a finalidade de produzir um resultado pré-estabelecido.

Roldão (2004) acrescenta citando que um projeto é como uma organização temporária designada a cumprir um objetivo, dentro de um início e fim bem definidos com base em um plano especificado.

Meredith e Mantel (2003) citam um projeto como sendo algo suficientemente complexo, pois suas atividades necessitam de uma coordenação cuidadosa em termos de tempo, precedência, custo e desempenho.

De acordo com o PMBOK (2008), os projetos são desenvolvidos em todos os níveis da organização, podendo envolver uma unidade isolada da organização ou atravessar as fronteiras organizacionais, como ocorre com consórcios e parcerias. Geralmente os projetos são críticos para a realização da estratégia de negócios da organização, por serem os meios pelos quais as estratégias são implantadas.

Projetos são classificados por Casarotto et al. (1999) em três grandes categorias: prestação de serviços, infra-estrutura e indústria. Prestação de serviços pode ser composta por estudos técnicos e projetos de engenharia em geral. Na infra-estrutura, estão os projetos de energia, edificações, comunicações e plantas industriais. Por fim, na categoria indústria tem-se a implantação, reforma e ampliação de áreas produtivas, lançamento de novos produtos, manutenção de máquinas equipamentos, fabricação de equipamentos e sistemas.

Mesmo com várias definições de projeto existentes na literatura, uma análise mais detalhada mostra que as mesmas apresentam pouca variação em termos conceituais.

### **3.2.1. Gerenciamento de Projetos**

Gerenciamento de projetos é definido por Roldão (2004) como um processo de planejamento, execução e controle de um projeto, desde seu início até sua conclusão, visa um objetivo a ser alcançado dentro de um prazo pré-definido com determinados custos e qualidade, além da mobilização de recursos técnicos e humanos.

Já, no PMBOK (2004), a gestão de projetos é definida como a aplicação de conhecimentos, habilidades e técnicas para projetar atividades que visam atingir os requerimentos do projeto.

Normalmente, o gerenciamento de projetos difere da administração tradicional por possuir atividades geralmente não repetitivas, complexas e dinâmicas. Meredith e Mantel (2003) citam que em alguns casos, existe a necessidade de coordenar um projeto no meio de outros em uma mesma organização. Complementam ainda que, para que seus resultados sejam atingidos, são necessárias ferramentas e técnicas específicas de gerenciamento. Isso porque problemas como baixo desempenho, resultados distintos da proposta inicial, atrasos, custos excessivos, falta de rumo para tomada de decisões e outros mais, podem ocorrer.

Slack et al. (2002), apresentam alguns fatores importantes que ajudam a minimizar as falhas geradas pelas incertezas inerentes aos projetos, tais como, metas claramente definidas, gerente de projeto competente, apoio da administração superior, membros do grupo de projeto competentes, suficiente alocação de recursos, canais de comunicação adequados, mecanismos de controle, capacidades de retroalimentação, respostas a clientes, mecanismos de ataque de problemas e continuidade do pessoal de projeto.

Para Copatto e Souza (2003), existe uma grande variedade de princípios, procedimentos, habilidades, ferramentas e técnicas utilizadas no gerenciamento de projetos que são necessárias para alcançar as metas previamente planejadas. Dentre elas destacam-se:

- Gráfico de Gantt: é uma das ferramentas mais conhecidas que permite visualizar o andamento de um projeto por meio de gráfico de barras que representam a duração das atividades no tempo. Estas barras podem ser ligadas umas nas outras representando uma seqüência de atividades para realização do projeto.

- WBS (*Working Breakdown Structure*): conhecida como Estrutura Analítica do Projeto (EAP), a técnica WBS quebra os projetos em elementos menores por meio de uma descrição gráfica, para facilitar sua administração e controle. Sua representação geralmente é feita por meio de uma árvore, cronograma ou tabela.

- Redes de Precedência: são redes das atividades de um projeto e suas respectivas durações. A montagem das redes deve levar em consideração a seqüência e a duração das atividades que representem o projeto. Dentre as técnicas utilizadas para a elaboração destas redes, a mais utilizada é a PERT/CPM.

- Corrente Crítica: é um método de gerenciamento de projetos que tem como base a Teoria das Restrições. Tal método está voltado para administração de prazos e atividades com foco no recurso gargalo. Seu controle é centralizado nos pulmões de tempo inseridos na rede de atividades em pontos estratégicos.

Turner et al. (2008) enfatizam o viés dos recursos humanos no gerenciamento de projetos em organizações que trabalham com projetos. Para estes autores o gerenciamento dos recursos humanos ocorre de maneira distinta da tradicional. Dentre as diferenças citadas pelos autores, está a necessidade de se trabalhar constantemente com uma estrutura organizacional temporária suprimindo os níveis altos e baixos da demanda por recursos humanos em função das oscilações nas quantidades de projetos em execução.

### **3.2.2. Áreas de Conhecimento**

Conforme PMBOK (2008) os processos de gerenciamento de projetos procuram garantir o fluxo eficaz do projeto durante toda sua existência. Tais processos abrangem ferramentas e técnicas que estão envolvidas na aplicação de habilidades e capacidades descritas nas Áreas de Conhecimento relacionadas à Integração, Escopo, Tempo, Custos, Qualidade, Recursos Humanos, Comunicações, Riscos e Aquisições do Projeto.

#### **3.2.2.1. Integração do Projeto**

A Integração do Projeto, segundo o PMBOK (2008) envolve os processos necessários de modo que possa assegurar que os diversos elementos do projeto sejam coordenados de forma adequada. Os principais processos dentro do gerenciamento da Integração do projeto são o desenvolvimento do termo de abertura do projeto, o desenvolvimento da declaração do escopo preliminar do projeto, o desenvolvimento do plano de gerenciamento do projeto, a orientação e gerenciamento da execução do projeto, o monitoramento e controle do trabalho do projeto e o controle integrado de mudanças.

#### **3.2.2.2. Escopo do Projeto**

No PMBOK (2008), dentro do gerenciamento do Escopo do projeto, são apresentados alguns processos necessários para garantir que o projeto inclua todo o trabalho necessário e assim possa ser completado com sucesso. São eles, planejamento do escopo, definição do escopo, criação da EAP, verificação do escopo e controle do escopo. O principal objetivo é definir e controlar o que deve e o que não deve estar incluído no projeto.

#### **3.2.2.3. Tempo do Projeto**

O gerenciamento do Tempo do projeto é envolvido por alguns processos que, segundo o PMBOK (2008), são necessários para assegurar que o projeto seja

concluído dentro do prazo previsto. Os principais processos abrangidos pelo gerenciamento do Tempo do projeto são a definição das atividades, o seqüenciamento das atividades, a estimativa de recursos para as atividades, a estimativa da duração das atividades, o desenvolvimento do cronograma e o controle do cronograma.

#### **3.2.2.4. Custos do Projeto**

Segundo o PMBOK (2008), o gerenciamento dos Custos do projeto envolve alguns processos necessários para assegurar a conclusão do projeto dentro do orçamento estabelecido inicialmente. Os principais processos são a estimativa de custos, o processo de orçamento e o controle de custos.

#### **3.2.2.5. Qualidade do Projeto**

Os processos envolvidos pelo gerenciamento da Qualidade do projeto e que são necessários para atender todos os requisitos definidos inicialmente no desenvolvimento do projeto, são apresentados no PMBOK (2008) como sendo, o planejamento da qualidade, a realização da garantia da qualidade e a realização do controle da qualidade.

#### **3.2.2.6. Recursos Humanos do Projeto**

O gerenciamento de Recursos Humanos, de acordo com o PMBOK (2008), procura proporcionar o uso mais efetivo das pessoas envolvidas no projeto. Para isso, alguns processos são necessários tais como, planejamento de recursos humanos, contratação ou mobilização da equipe do projeto, desenvolvimento da equipe do projeto e gerenciamento da equipe do projeto.

#### **3.2.2.7. Comunicações do Projeto**

Alguns processos são necessários para assegurar a geração, captura, distribuição, armazenamento e apresentação das informações do projeto. Os principais processos do gerenciamento das comunicações do projeto apresentados no PMBOK (2008) são, planejamento das comunicações, distribuição das informações, relatórios de desempenho e gerenciamento das partes interessadas.

### **3.2.2.8. Riscos do Projeto**

No PMBOK (2008) o gerenciamento de Riscos do projeto é considerado um processo sistemático de identificação, análise e resposta aos riscos do projeto. Para isso, é importante maximizar a probabilidade e conseqüências dos eventos positivos acontecerem e procurar minimizar a probabilidade de eventos negativos ocorrerem ao longo do projeto. Os principais processos ligados ao gerenciamento de Riscos são, planejamento do gerenciamento de riscos, identificação de riscos, análise qualitativa de riscos, análise quantitativa de riscos, planejamento de respostas aos riscos e monitoramento e controle de riscos.

### **3.2.2.9. Aquisições do Projeto**

Os processos envolvidos pelo gerenciamento de Aquisições do projeto são importantes para a aquisição de mercadorias e serviços externos à organização que executa o projeto. De acordo com o PMBOK (2008) os principais processos são o planejamento de compras e aquisições, o planejamento de contratações, a solicitação de respostas dos fornecedores, a administração do contrato e o encerramento do contrato.

### **3.2.2.10. Partes Interessadas (Stakeholder)**

A Área de gerenciamento das partes interessadas entra na quinta edição do PMBOK para demonstrar a importância do engajamento das partes interessadas nas principais decisões e atividades associadas ao projeto. Passa a ser quatro processos para o gerenciamento das partes interessadas. São eles: Identificação das partes interessadas; Plano de gerenciamento das partes interessadas; Gerenciamento do envolvimento das partes interessadas; e Controle do envolvimento das partes interessadas (RIBEIRO E LONGO, 2013).

### **3.2.3. Planejamento e Controle de Projetos**

Para Slack et al. (2002), um projeto pode ser visto como um sistema, no qual existem diversas atividades se inter-relacionando e que têm como objetivo comum um resultado final. Cada atividade do projeto pode ser considerada como uma caixa onde entram resultados das atividades que a antecede ou recursos do ambiente e dela saem subprodutos ou produtos.

Para esses autores, um projeto pode ser representado em cinco estágios distintos, sendo eles:

**Estágio 1:** Compreensão do ambiente de projeto – fatores internos e externos que podem influenciar o projeto.

**Estágio 2:** Definição do Projeto – estabelecimento dos objetivos, do escopo e da estratégia para o projeto.

**Estágio 3:** Planejamento do projeto – decisão de como o projeto será executado.

**Estágio 4:** Execução técnica – desempenho dos aspectos técnicos do projeto.

**Estágio 5:** Controle do projeto – garantia de que o projeto está sendo executado de acordo com os planos.

As organizações que desenvolvem projetos costumam dividi-los em várias fases para um melhor controle gerencial. Com base no PMBOK (2008), o conjunto das fases de um projeto é conhecido como ciclo de vida do projeto. Cada fase do projeto é marcada pela conclusão de um ou mais produtos da fase.

Uma comparação entre o ciclo de vida de entidades orgânicas com o de projetos é feita por Meredith e Mantel (2003). Para estes autores da mesma maneira que as fases iniciais de entidades orgânicas apresentam um progresso lento, em seguida se desenvolvem rapidamente até seu auge e depois, começam a declinar mais devagar até a conclusão, também acontece para os projetos.

Segundo o PMBOK (2008), a conclusão de uma fase pode ser marcada pela revisão dos principais subprodutos e pela avaliação do desempenho do projeto, tendo em vista dois pontos principais. Primeiro, determinar se o projeto deve continuar na sua próxima fase e, segundo, detectar e corrigir erros a um custo aceitável. Estas revisões de fim de fase são comumente denominadas saídas de fase, passagens de estágio ou pontos de término.

O ciclo de vida de um projeto, de acordo com PMBOK (2008), serve para definir o início e o fim de um projeto. Estabelece também, os trabalhos técnicos que devem ser realizados em cada uma das fases e quem serão os envolvidos. Suas descrições podem ser genéricas ou detalhadas. Descrições detalhadas podem conter documentos como formulários, *checklists* e diagramas para dar mais consistência e melhorar a estrutura de controle.

O ciclo de vida de um projeto pode apresentar variações relacionadas ao seu número de fases intermediárias como acontece nos trabalhos de Kruglianskas (1993) e Maximiano (1997) que apresentam ciclos de vida de projeto com quatro fases, sendo elas: preparação, estruturação, desenvolvimento e encerramento.

De acordo com Anselmo (2009), não há um modelo geral de ciclo de vida que atenda todas as necessidades de todo e qualquer projeto. Para este autor, os modelos existentes na literatura trazem importantes contribuições que permitem a identificação de produtos e fornecem bases conceituais para a definição das fases do ciclo de vida do projeto facilitando seu controle por parte dos gestores.

Conforme PMBOK (2008), algumas características em comuns são apresentadas nos ciclos de vida de um projeto. Um exemplo é o custo e a quantidade de pessoas da equipe de projeto que são baixos no início, ocorrem incrementos ao longo do projeto e reduzem quando seu término se aproxima. Isto pode ser visto na Figura 3.1.

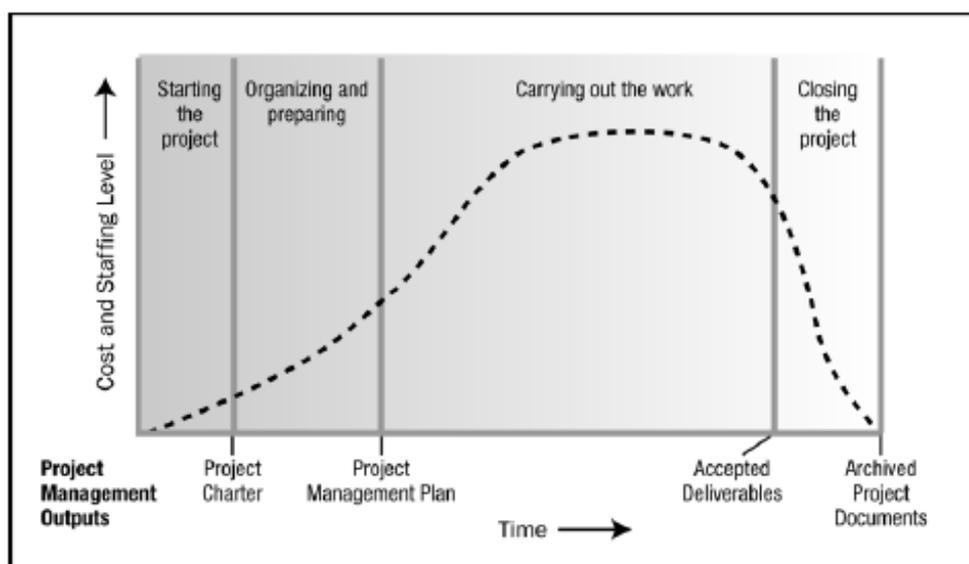


Figura 3.1: Custo e pessoas envolvidas durante o ciclo de vida de um projeto  
Fonte: PMBOK (2008)

Outra característica importante citada no PMBOK (2008) é que, no início do projeto, a probabilidade de terminá-lo com sucesso é baixa e a incerteza é alta. A probabilidade de sucesso aumenta à medida que o projeto caminha em direção ao seu término.

Segundo Kerzner (2002), quando começou surgir os indícios de gestão de projetos, o sucesso era medido apenas em quesitos técnicos como, por exemplo, se o projeto do produto fosse adequado o sucesso era confirmado. Ainda conforme este

autor, à medida que as empresas passaram a entender mais de gestão de projetos, a definição de sucesso passou a abranger o cumprimento dos prazos e dos custos estimados, além da qualidade ser definida pelo cliente e não mais pelo fornecedor.

Bannerman (2008) estabelece que o sucesso de um projeto pode ser avaliado em cinco níveis: Processo, Gerenciamento de Projetos, Produto, Negócio e Estratégia.

### 3.2.4 O gerenciamento de tempo nos Projetos

O gerenciamento de tempo em projetos constitui uma das nove áreas de conhecimento descritas no PMBOK (2004). De acordo com Paula et al. (2005), apesar das nove áreas de conhecimento contidas no PMBOK (2004), serem importante para um adequado gerenciamento de projetos, é no gerenciamento de tempo que estão os aspectos primordiais que formam a base para a elaboração do cronograma de um projeto. Para esses autores, as etapas para elaboração de um cronograma de projeto são compostas por:

- Estabelecimento das atividades que deverão ser realizadas para a conclusão do projeto, além de obter os resultados esperados proporcionando a satisfação do cliente;
- Identificação da seqüência ou dependência entre as atividades do projeto;
- Estimativa de tempo para cada uma das atividades de modo que a data contratual de entrega do projeto seja respeitada.

Para Meredith e Mantel (2003), o cronograma de um projeto pode ser considerado como sendo a conversão de seu plano de ação em uma programação operacional, através da qual será possível realizá-lo.

Algumas das técnicas mais utilizadas, vinculadas ao gerenciamento de cronogramas e conseqüentemente ao adequado detalhamento das suas atividades, prazo e programação são citadas por Paula et al. (2005).

A primeira é o Gráfico de Gantt, criado por Harry Gantt em 1916. Seu objetivo é mostrar, por meio de barras, as datas de início e fim de cada atividade. Pode ser utilizada também para representar departamentos, máquinas ou funcionários.

A segunda é a técnica PERT ou *Program Evaluation and Review Technique*. Esta técnica foi desenvolvida em 1958 e sua primeira utilização foi feita pela

marinha americana no projeto Armas Polaris, com o objetivo de se ter maior controle sobre o desenvolvimento dos programas militares. A partir daí, esta técnica se disseminou rapidamente nas indústrias. A vantagem perante as técnicas antecessoras é a possibilidade de criar redes de atividades permitindo assim a análise de folgas e do caminho crítico. Esta técnica probabilística utiliza três estimativas de tempo sendo uma pessimista, uma otimista e uma mais provável.

A terceira técnica CPM ou *Critical Path Method* foi desenvolvida pela empresa DuPont ficando mais concentrada nas indústrias de processo e nas áreas da construção civil. Seu desenvolvimento ocorreu no mesmo período em que a técnica PERT estava sendo desenvolvida.

A quarta é a técnica GERT ou *Graphical Evaluation and Review Techniques* que pode ser considerada como um modelo similar ao PERT e ao CPM possuindo como principal característica o controle relacionado aos *loopings* e, podendo ser exemplificado, por atividades de inspeção que ocorrem periodicamente em um projeto.

A Corrente Crítica é um método de gerenciamento de projetos que tem o tempo como sendo um dos seus pilares de sustentação, além do custo e qualidade. Essa ferramenta de gestão é apresentada com maiores detalhes na próxima seção deste trabalho.

### **3.3. A Corrente Crítica**

Esta seção do referencial teórico está dividida em quatro tópicos. No primeiro é apresentada a Teoria das Restrições que é complementada com seus cinco passos descritos no segundo tópico. A abordagem da teoria da Corrente Crítica é apresentada no terceiro tópico. No quarto tópico desta seção, são apresentadas as particularidades relacionadas aos pulmões de tempo assim como os principais métodos para seu dimensionamento.

#### **3.3.1. A Teoria das Restrições TOC**

O físico israelense Eliyahu M. Goldratt apresentou a TOC (*Theory of Constraints*) ou Teoria das Restrições na década de 80. De acordo com Goldratt (1991), a TOC é definida como uma “filosofia global de gerenciamento empresarial” que tem

como objetivo melhorar continuamente seu desempenho por meio de soluções que focalizam suas poucas restrições, sempre tomando como base a meta da organização.

Goldratt e Cox (1994) complementam citando que o objetivo da TOC é guiado pela necessidade de garantir a maximização do lucro dentro das condições da organização. Em contato com os problemas de logística de produção, surgiu a idéia básica da TOC que consiste em encontrar as restrições que limitam o ganho da empresa e gerenciá-las eficazmente.

Se não existe restrição em um sistema, este poderia produzir o que deseja em quantidade infinita, afirma Noreen et al. (1996). Eles acrescentam que se tratando de uma organização com fins lucrativos, os lucros seriam infinitos, uma vez que as restrições determinam a saída do sistema. Uma restrição é caracterizada por esses autores como qualquer coisa que, dentro de um sistema, o impeça de alcançar seus objetivos. A restrição determina o ritmo do sistema podendo ser exemplificada por um recurso produtivo, a falta de matérias-primas ou procedimentos organizacionais.

Sipper e Bulfin (1997) consideram a TOC um resultado da tecnologia definida por Goldratt como Produção Otimizada (*Optimized Production Technology - OPT*). A OPT consiste em uma filosofia de produção voltada para a administração da produção. Ela pode orientar a empresa no planejamento e controle de suas atividades e no processo contínuo de aprimoramento para sobreviver em um ambiente competitivo.

Sipper e Bulfin (1997) citam as nove regras da tecnologia OPT:

- 1 - Balancear o fluxo, não a capacidade;
- 2 - Restrições determinam a utilização de não-gargalos;
- 3 - Utilização e ativação de um recurso, não são sinônimos;
- 4 - Uma hora perdida no recurso gargalo é uma hora perdida no sistema;
- 5 - Uma hora economizada no recurso não-gargalo é uma miragem;
- 6 - Gargalos governam ambos, processo e inventário em um sistema;
- 7 - O lote de transferência não poderia ser igual ao de processamento;
- 8 - O lote de processamento deveria ser variável, não fixo;
- 9 - Programações deveriam ser estabelecidas analisando todas as

restrições. *Lead times* são resultados de uma programação e não podem ser predeterminados.

Baptista (2009) reforça que a TOC se baseia em uma abordagem sistêmica, procura focar em poucos pontos que permitem alavancar o sistema e sincroniza todas as suas partes, com o objetivo de se obter uma melhora significativa no

desempenho deste sistema como um todo. Este autor afirma que nas últimas três décadas, a TOC vem sendo desenvolvida por uma comunidade de praticantes e tem apresentado resultados significantes no ramo industrial, de varejo, serviços e distribuição.

### **3.3.2. O Método dos Cinco Passos**

Goldratt e Cox (1994) consideram a organização como uma corrente. Com isso, sua resistência é medida pela resistência do elo mais fraco da corrente, ou seja, a restrição. Ao aumentar a resistência do elo mais fraco, aumenta-se a resistência de toda a corrente. Para isso foi elaborado o Método dos Cinco Passos que consiste em:

- a) o primeiro passo é “identificar a restrição do sistema”;
- b) o segundo é “decidir como explorá-la”;
- c) o terceiro é “subordinar tudo às decisões de como explorá-la”;
- d) o quarto é “elevar a restrição”;
- e) o quinto é “voltar à primeira etapa se em uma das etapas anteriores à restrição for quebrada, não permitindo que a inércia se torne a restrição do sistema”.

Leach (2004) complementa afirmando que a corrente não ficará mais resistente até que se reforce seu elo mais fraco. Não é fácil encontrar a restrição do sistema nem estabelecer se é uma restrição interna ou externa.

Para Noreen et al. (1996), uma vez identificada a restrição, ela será tratada com maior rapidez se for uma restrição física de fábrica. Se esta restrição for superada, outra aparecerá, e se não for física, pode estar ligada aos procedimentos organizacionais.

Ainda de acordo com Noreen et al. (1996), uma empresa somente terá progresso, se ela aprender a superar suas restrições e não apenas aceitá-las. Para estes autores, se a organização seguir com sucesso os cinco passos sem deixar que a inércia prevaleça, as restrições sempre serão superadas.

### **3.3.3. O Procedimento da Corrente Crítica**

Nos tópicos a seguir são apresentados os mecanismos de proteção e desperdício estabelecidos por Goldratt (1998), assim como o detalhamento do procedimento para aplicação do método da Corrente Crítica em uma rede de atividades.

### **3.3.3.1. Mecanismos de Proteção**

Uma análise sobre o gerenciamento de projetos é feita por Goldratt (1998) e alguns mecanismos que são utilizados pelos envolvidos para embutir proteção nas estimativas de duração das atividades são apresentados.

São três os mecanismos citados por Goldratt (1998). O primeiro está relacionado ao desejo de uma atividade terminar no prazo estimado. Para isso, sua duração é estimada com uma margem de segurança, ou seja, a estimativa tem como base uma experiência pessimista.

O segundo mecanismo, considerado pelo autor, ocorre quando uma seqüência de atividades passa por diferentes departamentos e níveis hierárquicos. Nesta situação, suas estimativas de tempo ficam mais vulneráveis à colocação de tempos de segurança, pois cada um quer garantir seu cumprimento de prazo. Dessa forma, quanto maior o número de níveis gerenciais, maior o tempo total das estimativas.

E por fim, no terceiro mecanismo, o autor cita o fato da alta direção da organização cortar cerca de 20% o tempo estimado de um projeto. Como os envolvidos geralmente sabem disso, eles já consideram um tempo excedente que posteriormente será cortado pela diretoria da empresa.

Umble e Umble (2000) complementam citando que normalmente as pessoas que estimam os tempos, consideram uma porção de tempo extra como segurança. Além disso, os gerentes, para garantir o cumprimento dos prazos dos projetos, acabam aumentando ainda mais essa estimativa.

### **3.3.3.2. Mecanismos de Desperdício**

Steyn (2000) argumenta que, mesmo com todas as proteções de tempo embutidas nas estimativas das durações das atividades, os atrasos ainda incidem na entrega de projetos, pois as pessoas continuam a desperdiçar a segurança disponível.

Os mecanismos que causam ou provocam tais desperdícios são apresentados por Goldratt (1998). O primeiro mecanismo citado pelo autor pode ser explicado pela Lei de Parkinson, a qual cita que a realização de uma atividade tende a preencher todo o tempo estimado disponível. Para o autor, as pessoas envolvidas na realização das atividades não comunicam seus superiores sobre o término antecipado de atividades com receio de que serão pressionadas para reduzirem os tempos estimados nas próximas atividades. Os departamentos envolvidos nas atividades seguintes tendem

a apresentar restrições, pois mesmo que a pessoa responsável seja avisada da antecipação da conclusão da atividade que o antecede, sua programação para aquele determinado período deverá ser totalmente re-planejada.

Para Umble e Umble (2000), quando uma atividade termina antes da data planejada, dificilmente a atividade seguinte iniciará mais cedo que a data programada. Mas, quando uma atividade termina atrasada, esse tempo é repassado para a atividade seguinte e assim as disponibilidades de recursos deverão ser re-programadas.

O segundo mecanismo apresentado por Goldratt (1998) é a Síndrome do Estudante. Ele apresenta que quando um estudante tem uma atividade a ser realizada, primeiramente vai brigar para conseguir mais tempo. Quando este prazo for postergado, deixará para realizá-la no último momento, o que aumenta as chances de ocorrer os atrasos, uma vez que a maioria dos problemas só aparece ou são descobertos quando se inicia o trabalho propriamente dito.

Umbler e Umble (2000) complementam citando que o termo Síndrome do Estudante se origina na tendência que os estudantes apresentam de deixarem para iniciar os estudos de uma prova ou a realização de um trabalho no último minuto. Quando um estudante briga por mais tempo e consegue, o estudo deixa de ser urgente e só irá iniciar no momento que boa parte do tempo extra já tiver passado.

Goldratt (1998) caracteriza o terceiro mecanismo como o fenômeno da multitarefa. Tal fenômeno acontece quando um determinado departamento está sendo pressionado por outros para concluir várias atividades de vários projetos nos prazos acordados. Sendo assim, as pessoas iniciam várias atividades e não conclui nenhuma. Com muitas atividades começadas, o avanço continuará na medida em que as exigências e as pressões forem sendo feitas.

Herroelen e Leus (2001) complementam que a multitarefa é comum em ambientes de múltiplos projetos, pois existem recursos concorrentes trabalhando para atividades distintas em períodos de tempo peculiares. Quando um recurso é interrompido de realizar uma atividade para iniciar outra, o tempo individual estimado destas atividades fica comprometido.

Segundo Goldratt (1998), os mecanismos de desperdício apresentados anteriormente contribuem para os atrasos dos projetos. Mesmo parecendo simples e óbvios, foram constatados em muitas situações reais. Desse modo, todos os mecanismos de proteção que foram usados para aumentar o tempo das atividades acabam sendo totalmente desperdiçados.

### 3.3.3.3. O Procedimento

O método da Corrente Crítica, de acordo com Herroelen e Leus (2001), procura minimizar as conseqüências dos mecanismos de desperdício por meio da redução da duração estimada das atividades em 50%, por eliminar datas de conclusão ou marcos (*milestones*) das atividades e por acabar com a multitarefa.

Para Umble e Umble (2000), o método da Corrente Crítica tem como meta garantir que a conclusão de um projeto seja rápida e bem sucedida. Com a eliminação do tempo de segurança de cada atividade, a tendência é que elas terminem o mais rápido possível.

Steyn (2000) complementa citando que os tempos de segurança subtraídos com a aplicação do método da Corrente Crítica são convertidos em pulmões de tempo. Segundo o autor, com as reduções dos tempos das atividades, suas durações ficam mais reais e desafiadoras.

A administração da execução do projeto é realizada por meio do gerenciamento dos pulmões de tempo, acrescenta Herroelen e Leus (2001). Para eles, à medida que a conclusão das atividades vai sendo constatada, o gestor do projeto consegue saber quanto tempo dos pulmões já foi consumido.

Com o objetivo de proteger a data de término do projeto, Herroelen e Leus (2001) complementam citando que os tempos de segurança removidos das atividades devem concentrar-se no final da Corrente Crítica. Essa reserva de tempo localizada no final da Corrente Crítica é chamada de Pulmão de Projeto. Já para os tempos de segurança removidos de atividades não pertencentes à Corrente Crítica, estes devem estar concentrados no final destas atividades em um pulmão de tempo chamado Pulmão de Convergência. O objetivo deste é proteger a Corrente Crítica de qualquer atraso que venha ocorrer nas atividades não críticas do projeto.

Para exemplificar a aplicação do procedimento da Corrente Crítica, foi utilizada uma rede de atividades extraída de Barcaui e Quelhas (2004), representada pela Figura 3.2. Cada uma das atividades é representada por um número e uma letra. O número significa o tempo estimado para a realização da atividade e a letra representa o recurso para realizar a atividade.

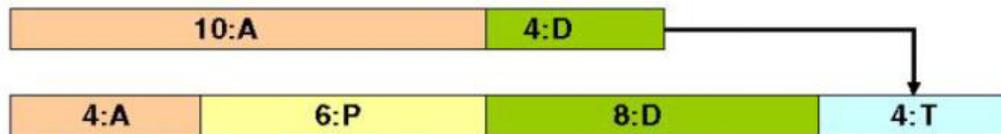


Figura 3.2: Planejamento inicial do projeto.  
Fonte: Barcaui e Quelhas (2004).

O comprimento de cada um dos retângulos é proporcional à duração esperada de cada atividade e a seqüência na qual estão dispostas deve ser seguida, pois o início de uma atividade depende do término da anterior. A seta entre 4:D e 4:T também representa uma dependência. Dessa maneira, tanto a atividade 4:D quanto a 8:D, devem terminar antes da tarefa 4:T iniciar. Os tempos estimados para as atividades estão com os tempos de segurança embutidos e representam dias.

Para Goldratt (1998), ao se aplicar o método da Corrente Crítica, os tempos de cada uma das atividades devem ser reduzidos pela metade, uma vez que os tempos subtraídos formarão a base para os pulmões de tempo do projeto. Tais pulmões serão responsáveis por absorver os possíveis atrasos das atividades do projeto. A Figura 3.3 apresenta as atividades com seus tempos reduzidos em 50%.



Figura 3.3: Redução nas durações das atividades.  
Fonte: Barcaui e Quelhas (2004).

Quando o gerente do projeto analisar a programação das atividades na Figura 3.3, ele notará um conflito nas atividades realizadas pelo recurso “D”. Para resolver este conflito, cria-se uma dependência entre essas atividades. A Figura 3.4 mostra a solução.

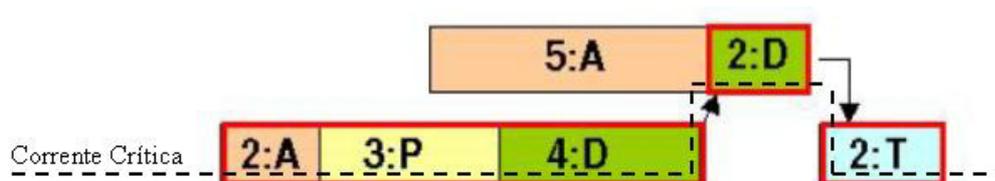


Figura 3.4: Resolução do conflito entre as atividades.  
Fonte: Adaptado de Barcaui e Quelhas (2004).

Os pulmões de tempo que vão proteger os projetos dos possíveis atrasos são subtraídos das suas atividades, como apresentado anteriormente. Para Paula et al. (2005), são quatro os tipos de pulmões de tempo que fazem parte do método da Corrente Crítica: Pulmão de Projeto (*Project Buffer*), Pulmão de Convergência (*Feeding Buffer*), Pulmão de Recurso (*Resource Buffer*) e Pulmão de Capacidade (*Capacity Buffer*).

No exemplo de rede de atividades mostrado anteriormente, serão utilizados somente dois tipos de pulmões de tempo, o de Projeto e o de Convergência. A Figura 3.5 apresenta a transferência dos tempos de segurança retirados das atividades individuais e transformados em Pulmão de Projeto e Pulmão de Convergência.

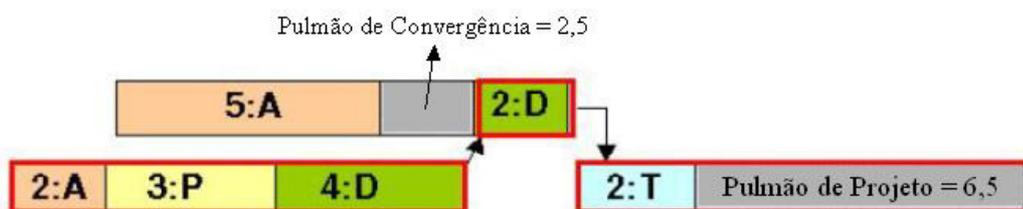


Figura 3.5: Programação do Projeto considerando os pulmões de tempo.  
Fonte: Adaptado de Barcaui e Quelhas (2004).

O Pulmão de Convergência, como mostrado na Figura 3.5, está protegendo as atividades 2:D e 2:T de qualquer atraso que venha ocorrer na atividade 5:A, que não faz parte da Corrente Crítica. Já o Pulmão de Projeto, que está localizado no final da rede de atividades e derivado das atividades da Corrente Crítica, 2:A – 3:P – 4:D – 2:D – 2:T, protege a data de conclusão do projeto.

O cálculo do tempo do Pulmão de Convergência terá como base a única atividade não pertencente à Corrente Crítica. Seu valor será 50% do tempo subtraído

desta atividade. Como o tempo retirado foi 5 dias, o pulmão de convergência tem um tempo reserva de 2,5 dias.

O pulmão de projeto terá seu tempo calculado com a soma de todos os tempos subtraídos das atividades da Corrente Crítica. Como o tempo total retirado das atividades da Corrente Crítica soma 13 dias, o pulmão de projeto terá um tempo acumulado de 6,5 dias, ou seja, 50% da soma dos tempos subtraídos.

#### **3.3.4. Pulmões de tempo**

O Pulmão de Projeto ou *Project Buffer*, de acordo com Paula et al. (2005), está localizado no final da rede de atividades do projeto, ou seja, no final da Corrente Crítica. É o pulmão de tempo mais importante, pois protege a data final do projeto contra as incertezas inerentes à realização das atividades. Umble e Umble (2000) acrescentam que algumas atividades levam menos tempo que o previsto para serem realizadas enquanto outras gastam mais tempo que o previsto. Quando isto acontece, a reserva de tempo localizada no pulmão absorve esses possíveis atrasos, protegendo a data de conclusão do projeto.

O Pulmão de Convergência ou *Feeding Buffer*, segundo Umble e Umble (2000), é criado para proteger as atividades da Corrente Crítica dos eventuais atrasos que venham ocorrer em caminhos não críticos. Paula et al. (2005) complementam que este pulmão está localizado no final de cada ramo de atividade adjacente às atividades pertencentes à Corrente Crítica.

A função do Pulmão de Recurso ou *Resource Buffer* é assegurar a disponibilidade do recurso no momento em que está programado, cita Paula et al. (2005). Eles acrescentam que este pulmão funciona como um tipo de alerta avisando periodicamente o momento que o recurso será utilizado. Dessa forma reduz-se o risco do recurso não estar disponível no momento em que uma atividade da Corrente Crítica precisar utilizá-lo. Umble e Umble (2000) citam ainda que ao invés de alertar, pode-se criar um tempo de inatividade para garantir a disponibilidade do recurso.

Já os Pulmões de Capacidade ou *Capacity Buffer*, conforme Paula et al. (2005), são utilizados em ambientes de múltiplos projetos para proteger recursos estratégicos que são utilizados por vários projetos. Para Umble e Umble (2000), se a restrição não for bem protegida e gerenciada, haverá desperdício da capacidade restritiva, o que afetará a data de conclusão do projeto.

De acordo com Tukul et al. (2006), existem apenas duas abordagens sobre cálculo de pulmões de tempo na literatura: o Método Cortar e Colar (*Cut & Paste Method - C&PM*) e o Método da Raiz Quadrada do Erro (*Root Square Error Method - RSEM*). Esses autores sugerem dois novos métodos para determinar o tamanho dos pulmões de tempo. Um dos métodos leva em consideração a complexidade do projeto (*Adaptive Procedure with Density - APD*) e o outro tem como base a escassez de recurso em um projeto (*Adaptive Procedure with Resource Tightness – APRT*).

Xie et al. (2010) propõem no seu trabalho o Método Melhorado da Raiz do Erro (*IRSEM*) para projetos de software. Neste método o dimensionamento do pulmão de tempo também leva em consideração a complexidade e o grau de restrição de recursos.

Esses cinco métodos são demonstrados nos tópicos que seguem.

#### 3.3.4.1. Método Cortar e Colar (*C&PM*)

Segundo Goldratt (1998), depois que a Corrente Crítica de um projeto foi determinada, o próximo passo é somar todos os tempos de segurança que foram subtraídos das atividades, dividir o resultado desta soma pela metade e acrescentar como pulmão de tempo. Por exemplo, em uma rede com 4 atividades onde de cada uma foram subtraídos 5 dias, o pulmão de tempo será de 10 dias.

Para Tukul et al. (2006), a vantagem desse método é a simplicidade, no entanto, pelo fato do tamanho do pulmão de tempo aumentar linearmente com o comprimento da seqüência de atividades, um projeto com baixo risco poderá ter uma proteção desnecessariamente maior do que deveria.

A rede de atividades representada pela Figura 3.6 mostra um projeto para exemplificar o Método Cortar e Colar.

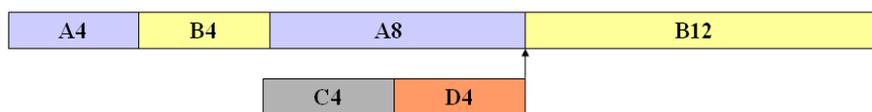


Figura 3.6: Rede de atividades do Projeto Exemplo.

Como pode ser observado, o projeto da Figura 3.6 é composto por 6 atividades, sendo que 4 delas compõem o ramo principal ou a Corrente Crítica (A4→B4→A8→B12) e 2 delas formam o ramo secundário (C4→D4).

A letra de cada uma das atividades representa o recurso utilizado e o número diz respeito à duração da atividade, ou seja, na atividade A4, o recurso A é utilizado por 4 períodos de tempo.

Aplicando o Método Cortar e Colar, cada uma das atividades terá seu tempo reduzido pela metade e 50% deste tempo reduzido será deslocado para os pulmões de tempo. Neste caso, serão necessários dois pulmões de tempo, um pulmão de projeto (PP) e um pulmão de convergência (PC).

Na Figura 3.7, pode ser observada a redução de tempo das atividades e a localização dos pulmões de tempo assim como suas durações.

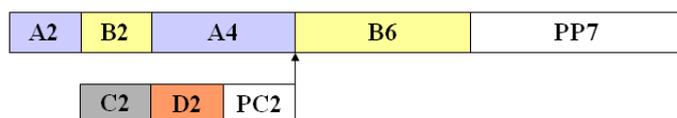


Figura 3.7: Método Cortar e Colar aplicado ao Projeto Exemplo

Como pode ser visto na Figura 3.7, pulmão de projeto (PP) está localizado no final da Corrente Crítica e é composto por 7 períodos de tempo. Já o pulmão de convergência foi incluído no final do ramo secundário de atividades e é formado por 2 períodos de tempo.

### 3.3.4.2. Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)

De acordo com Newbold (1998), este método utiliza duas estimativas para cada uma das atividades que compõem a rede de precedência. A primeira é a estimativa com tempo de segurança embutido (S) e a segunda é a estimativa média (d), ou seja, 50% do tempo estimado. Sendo assim, a incerteza (U) de cada atividade é calculada da seguinte maneira:  $U_i = S_i - d_i$ , onde  $i$  representa cada uma das tarefas que compõem a rede, podendo variar de 1 a  $n$ .

Newbold (1998) sugere ainda que o desvio padrão da duração de cada atividade é dado pelo valor de  $(U_i/2)$ , sendo assim, o desvio padrão ( $\sigma$ ) da rede de atividades é dado pela Raiz Quadrada de  $((U_1/2)^2 + (U_2/2)^2 + \dots + (U_n/2)^2)$ . Com isso o

autor define o tamanho do pulmão de tempo como sendo duas vezes o desvio padrão, ou seja:

$$\text{Tamanho do pulmão} = 2\sigma = \text{Raiz Quadrada } (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

A vantagem deste método em relação ao Método de Cortar e Colar é que no Método da Raiz Quadrada do Erro, não são gerados pulmões de tempo muito grandes ou pequenos em função do comprimento da rede de atividades (TUKEL et al., 2006).

Para exemplificar a aplicação do Método da Raiz Quadrada do Erro, será utilizada a mesma rede de atividades do Projeto Exemplo apresentado na Figura 3.6. O cálculo de  $U_i = S_i - d_i$ , para cada uma das atividades, está demonstrado a seguir:

#### Atividades da Corrente Crítica

$$A4 \rightarrow U = 4 - 2 = 2$$

$$B4 \rightarrow U = 4 - 2 = 2$$

$$A8 \rightarrow U = 8 - 4 = 4$$

$$B12 \rightarrow U = 12 - 6 = 6$$

#### Atividades do ramo secundário

$$C4 \rightarrow U = 4 - 2 = 2$$

$$D4 \rightarrow U = 4 - 2 = 2$$

Sendo assim, os cálculos do pulmão de projeto (PP) e do pulmão de convergência (PC) são demonstrados a seguir:

$$PP = \text{Raiz Quadrada } (2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2) = 7,8$$

$$PC = \text{Raiz Quadrada } (2^2 + 2^2) = 2,8$$

A aplicação do Método da Raiz Quadrada do Erro na rede de tarefas do Projeto Exemplo com seus respectivos pulmões de tempo estão apresentados na Figura 3.8.

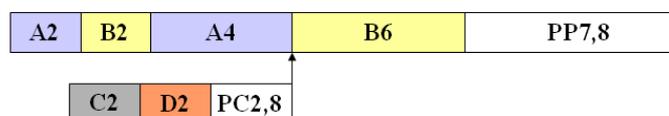


Figura 3.8: Método da Raiz Quadrada do Erro aplicado ao Projeto Exemplo

Neste caso, o pulmão de projeto (PP) ficou com 7,8 períodos de tempo e o pulmão de convergência (PC) com 2,8 períodos de tempo. A Figura 3.8 exibe também a localização destes dois pulmões de tempo.

### 3.3.4.3. Procedimento Adaptativo com Densidade (APD)

Tukel et al. (2006) definem alguns fatores para o cálculo do pulmão de tempo e, para eles, o foco é em complexidade da rede de atividades. No artigo, os autores restringem este procedimento para o cálculo do Pulmão de Convergência. O tamanho do pulmão de tempo é definido pela equação:

Tamanho do pulmão =  $K * \text{Raiz Quadrada de SUM}$ , onde:

$SUM = \sum_{i=1}^n VAR_i$  ;  $SUM = 0$ ;  $VAR_i = \text{variância da atividade } i$ ;

$VAR_i = (d_i)^2 * (\exp(\sigma^2) - 1)$  ;  $d_i = \text{duração da atividade } i$  e;

$\sigma = \text{desvio padrão da atividade } i$ ;

$K = 1 + (\text{TOTPRE}/\text{NTASK})$ , onde:

TOTPRE = número total de relações de precedência existentes na sub-rede de atividades que chega a Corrente Crítica;

NTASK = número de atividades da sub-rede.

Ainda segundo Tukel et al. (2006), quando o número de relações de precedência em uma rede de atividades aumenta, a chance de ocorrer um atraso também aumenta, pois, nesse caso, as atividades estão mais inter-relacionadas e qualquer atraso durante sua execução influenciará a execução de todas as atividades sucessoras.

Como exemplo para aplicação do Procedimento Adaptativo com Densidade (APD), também será utilizada a rede de atividades do Projeto Exemplo apresentado na Figura 3.6. O diferencial é que este método será usado para calcular tanto o Pulmão de Convergência (PC), referente ao ramo secundário de atividades, quanto o Pulmão de Projeto (PP) referente à Corrente Crítica.

Os valores dos desvios padrão ( $\sigma$ ) das atividades que serão utilizados no cálculo da Variância estão relacionados abaixo:

$$\sigma_{A4} = \sigma_{B4} = \sigma_{C4} = \sigma_{D4} = 0,5$$

$$\sigma_{A8} = \sigma_{B12} = 1$$

O cálculo da Variância das atividades ( $VAR_i$ ) está demonstrado a seguir:

#### Atividades da Corrente Crítica

$$A4 \rightarrow VAR_{A4} = (2)^2 * (\exp(0,5^2) - 1) = 4 * 0,28 = 1,1$$

$$B4 \rightarrow VAR_{B4} = (2)^2 * (\exp(0,5^2) - 1) = 4 * 0,28 = 1,1$$

$$A8 \rightarrow VAR_{A8} = (4)^2 * (\exp(1^2) - 1) = 16 * 1,72 = 27,5$$

$$B12 \rightarrow VAR_{B12} = (6)^2 * (\exp(1^2) - 1) = 36 * 1,72 = 61,9$$

#### Atividades do ramo secundário

$$C4 \rightarrow VAR_{C4} = (2)^2 * (\exp(0,5^2) - 1) = 4 * 0,28 = 1,1$$

$$D4 \rightarrow VAR_{D4} = (2)^2 * (\exp(0,5^2) - 1) = 4 * 0,28 = 1,1$$

Abaixo está o cálculo de K, tanto para a rede de atividades da Corrente Crítica quanto para as atividades do ramo secundário:

#### Atividades da Corrente Crítica

$$K = 1 + (1/2) = 1,5$$

#### Atividades do ramo secundário

$$K = 1 + (1/2) = 1,5$$

Com os valores de K e  $VAR_i$ , pode-se calcular o tamanho do pulmão de tempo:

#### Atividades da Corrente Crítica

$$\text{Pulmão de Projeto} = K * \text{Raiz Quadrada}(1,1 + 1,1 + 27,5 + 61,9)$$

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,5 * 9,6 = 14,4$$

#### Atividades do ramo secundário

$$\text{Pulmão de Convergência} = K * \text{Raiz Quadrada}(1,1 + 1,1)$$

$$\text{Pulmão de Convergência} = 1,5 * 1,5 = 2,3$$

A aplicação do Procedimento Adaptativo com Densidade (APD) na rede de tarefas do Projeto Exemplo com seus respectivos pulmões de tempo estão apresentados na Figura 3.9.

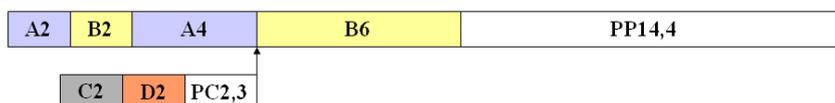


Figura 3.9: Procedimento Adaptativo com Densidade aplicado ao Projeto Exemplo

Neste caso o pulmão de projeto (PP) ficou com 14,4 períodos de tempo e o pulmão de convergência (PC) com 2,3 períodos de tempo. A Figura 3.9 exibe também a localização destes dois pulmões de tempo.

#### 3.3.4.4. Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT)

Para este procedimento, Tukul et al. (2006) define algumas variáveis que levam em consideração a escassez de recurso existente no projeto:

Tamanho do pulmão =  $K \cdot \text{Raiz Quadrada de SUM}$ , onde:

$$\text{SUM} = \text{SUM} + \text{VAR}_i ; \text{SUM} = 0$$

$$\text{VAR}_i = (d_i)^2 * (\exp(\sigma^2) - 1) ; d_i = \text{duração da atividade } i \text{ e;}$$

$\sigma$  = desvio padrão da atividade  $i$ ;

$K = 1 + r'$ , onde:

$$r' = \text{máximo}_q \{ \text{RF}(q) \}$$

$\text{RF}(q)$  = Taxa de Utilização do Recurso “ $q$ ”

$\text{RF}(q) = \text{somatório de } r(i,q) * d_i / T * \text{Rav}(q)$ , para recurso tipo  $q$ , onde:

$r$  = recurso  $q$  usado na atividade  $i$ ;  $d_i$  = duração da atividade  $i$ ;

$\text{Rav}$  = disponibilidade do recurso tipo  $q$ ;  $T$  = comprimento da Corrente

Crítica e  $\text{VAR}_i$  = variância da atividade  $i$ .

A constante  $K$  serve para que as características dos projetos possam ter impacto na determinação do tamanho do pulmão.

Para esses autores, quando o número total de recursos utilizados em um projeto está próximo do número total de recursos disponíveis, a chance de ocorrer atrasos na execução das atividades aumenta. Sendo assim pulmões de tempo maiores deveriam existir para absorver estes eventuais atrasos.

Como exemplo para aplicação do Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT), também será utilizada a rede de atividades do Projeto Exemplo apresentado na Figura 3.6. Este procedimento é aplicado pelos autores Tukul et al. (2006) apenas para cálculo de Pulmão de Convergência. Neste trabalho, o diferencial é que este método será usado para calcular tanto o Pulmão de Convergência (PC), referente ao ramo secundário de atividades, quanto o Pulmão de Projeto (PP) referente à Corrente Crítica.

Os valores dos desvios padrão ( $\sigma$ ) das atividades que serão utilizados no cálculo da Variância estão relacionados abaixo:

$$\sigma_{A4} = \sigma_{B4} = \sigma_{C4} = \sigma_{D4} = 0,5$$

$$\sigma_{A8} = \sigma_{B12} = 1$$

Segue demonstração do cálculo da Variância das atividades (VAR<sub>i</sub>):

#### Atividades da Corrente Crítica

$$A4 \rightarrow \text{VAR}_{A4} = (2)^2 * (\exp(0,5^2) - 1) = 4 * 0,28 = 1,1$$

$$B4 \rightarrow \text{VAR}_{B4} = (2)^2 * (\exp(0,5^2) - 1) = 4 * 0,28 = 1,1$$

$$A8 \rightarrow \text{VAR}_{A8} = (4)^2 * (\exp(1^2) - 1) = 16 * 1,72 = 27,5$$

$$B12 \rightarrow \text{VAR}_{B12} = (6)^2 * (\exp(1^2) - 1) = 36 * 1,72 = 61,9$$

#### Atividades do ramo secundário

$$C4 \rightarrow \text{VAR}_{C4} = (2)^2 * (\exp(0,5^2) - 1) = 4 * 0,28 = 1,1$$

$$D4 \rightarrow \text{VAR}_{D4} = (2)^2 * (\exp(0,5^2) - 1) = 4 * 0,28 = 1,1$$

O cálculo de K, tanto para a rede de atividades da Corrente Crítica quanto para as atividades do ramo secundário, está demonstrado abaixo. Antes é necessário calcular RF(q) para encontrar r'.

#### Atividades da Corrente Crítica

$$\text{RF}_A = [(1*2)+(1*4)]/(14*6) = 0,07$$

$$RF_B = [(1*2)+(1*6)]/(14*8) = 0,07$$

$$r' = \text{máximo}_q \{RF(q)\} = RF_A = RF_B = 0,07$$

$$K = 1 + r' = 1 + 0,07 = 1,07$$

Atividades do ramo secundário

$$RF_C = (1*2)/(14*2) = 0,07$$

$$RF_D = (1*2)/(14*2) = 0,07$$

$$r' = \text{máximo}_q \{RF(q)\} = RF_A = RF_B = 0,07$$

$$K = 1 + r' = 1 + 0,07 = 1,07$$

Com os valores de K e VARi, pode-se calcular o tamanho do pulmão de tempo:

Atividades da Corrente Crítica

$$\text{Pulmão de Projeto} = K * \text{Raiz Quadrada} (1,1 + 1,1 + 27,5 + 61,9)$$

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,07 * 9,6 = 10,3$$

Atividades do ramo secundário

$$\text{Pulmão de Convergência} = K * \text{Raiz Quadrada} (1,1 + 1,1)$$

$$\text{Pulmão de Convergência} = 1,07 * 1,5 = 1,6$$

A aplicação do Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT) na rede de tarefas do Projeto Exemplo com seus respectivos pulmões de tempo estão apresentados na Figura 3.10.

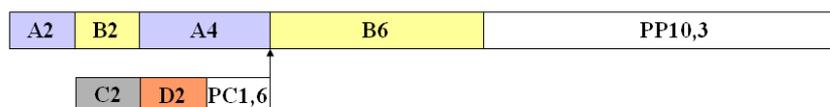


Figura 3.10: Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso aplicado ao Projeto

Exemplo

Neste caso o pulmão de projeto (PP) ficou com 10,3 períodos de tempo e o pulmão de convergência (PC) com 1,6 períodos de tempo. A Figura 3.10 apresenta também a localização destes dois pulmões de tempo.

### 3.3.4.5. Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (IRSEM)

Este método foi elaborado por Xie et al. (2010) e está relacionado com projetos de software. Os autores consideram para dimensionar os pulmões de tempo tanto a complexidade existente nos processos de software ( $\alpha_i$ ) quanto o grau de restrição de recursos ( $\beta_i$ ). A Fórmula 1, a seguir, elaborada pelos autores, mostra as variáveis consideradas para o cálculo de pulmão de tempo.

$$\Delta b = \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ (1 + \alpha_i + \beta_i) \sigma_{iy} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

(Fórmula 1)

Para calcular a complexidade do processo de software ( $\alpha_i$ ), os autores relacionam o número total de atividades que antecedem a atividade “i” ( $|V_i|$ ) com o total de trabalho que antecede a atividade “i” ( $|V|$ ), conforme Fórmula 2 que segue.

$$\alpha_i = \frac{|V_i|}{|V|} \quad (\text{Fórmula 2})$$

O cálculo do grau de restrição de recursos ( $\beta_i$ ) é efetuado de acordo com a Fórmula 3.

$$\beta_i = \max \left\{ \sum_{k=1}^m r_k / R_t \right\}; t \in [ST_i, ST_i + D_i] \quad (\text{Fórmula 3})$$

Onde,  $r_{kt}$  representa a quantidade de recursos necessários para implantação do processo “ $k$ ” em “ $t$ ” períodos de tempo e  $R_t$  representa o fornecimento limite de recursos em “ $t$ ” períodos de tempo.

A letra “ $m$ ” significa o número total de implantações de processos em “ $t$ ” períodos de tempo.

$ST_i$  é o início do tempo do processo “ $i$ ” e  $Di$  é a duração do processo “ $i$ ”.

Como pode ser observado na Fórmula 3, Xie et al. (2010) consideram para calcular o fator relacionado ao grau de restrição de recurso ( $\beta_i$ ) uma amostra ou valor pontual na rede de atividades, ou seja, em um determinado período de tempo o valor de “ $\beta_i$ ” pode ser maior devido à utilização do recurso estar acontecendo por mais de uma atividade. É este valor considerado pelos autores que vai influenciar no tamanho do pulmão de tempo.

Para exemplificar a aplicação do Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro, será utilizada a mesma rede de atividades do Projeto Exemplo apresentado na Figura 3.6. Os cálculos estão demonstrados a seguir.

Cálculo da complexidade do processo ( $\alpha_i$ ) utilizando Fórmula 2:

Atividades da Corrente Crítica

$$A4 \rightarrow \alpha_{A4} = 0$$

$$B4 \rightarrow \alpha_{B4} = 1/2 = 0,5$$

$$A8 \rightarrow \alpha_{A8} = 2/4 = 0,5$$

$$B12 \rightarrow \alpha_{B12} = 3/8 = 0,4$$

Atividades do ramo secundário

$$C4 \rightarrow \alpha_{C4} = 0$$

$$D4 \rightarrow \alpha_{D4} = 1/2 = 0,5$$

Cálculo do grau de restrição de recursos ( $\beta_i$ ) utilizando a Fórmula 3:

Para facilitar a compreensão do cálculo do grau de restrição de recursos ( $\beta_i$ ), será utilizada a Figura 3.11.

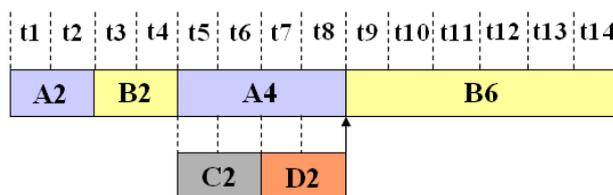


Figura 3.11: Projeto Exemplo com os tempos períodos de tempo exibidos ao longo do projeto (t1 a t14)

Como pode ser visto na Figura 3.11, a atividade A2, que usa o recurso A por 2 períodos de tempo, inicia no período t1 e termina no período t2. A atividade B2, que utiliza o recurso B durante 2 períodos de tempo, inicia no período t3 e termina no período t4. Assim segue para as outras atividades, até a conclusão do projeto com a atividade B6 que inicia suas atividades no período t9 e termina no período t14.

#### Atividades da Corrente Crítica

Para os períodos de execução da atividade A4 (t1 e t2)  $k=1$

$$\text{Em t1 e t2: } A4 \rightarrow \beta_{A4} = r_{kt}/R_t = 1/1 = 1$$

Para os períodos de execução da atividade B4 (t3 e t4)  $k=1$

$$\text{Em t3 e t4: } B4 \rightarrow \beta_{B4} = r_{kt}/R_t = 1/1 = 1$$

Para os períodos de execução da atividade A8 (t5 à t8)  $k=1$

$$\text{Em t5, t6, t7 e t8: } A8 \rightarrow \beta_{A8} = r_{kt}/R_t = 1/1 = 1$$

Para os períodos de execução da atividade B12 (t9 à t14)  $k=1$

$$\text{Em t9, t10, t11, t12, t13 e t14: } B12 \rightarrow \beta_{B12} = r_{kt}/R_t = 1/1 = 1$$

#### Atividades do ramo secundário

Para os períodos de execução da atividade C4 (t5 e t6)  $k=1$

$$\text{Em t5 e t6: } C4 \rightarrow \beta_{C4} = r_{kt}/R_t = 1/1 = 1$$

Para os períodos de execução da atividade D4 (t7 e t8)  $k=1$

$$\text{Em t7 e t8: D4} \rightarrow \beta_{D4} = r_{kt}/R_t = 1/1 = 1$$

Como pode ser observado, todos os valores encontrados para o grau de restrição de recursos ( $\beta_i$ ) foram iguais a 1. Isso acontece por que em todos os períodos de tempo em que as atividades do Projeto Exemplo são executadas, não ocorrem implementação de processos que utilizem o mesmo recurso, dessa forma para qualquer período de tempo o recurso empregado é igual ao recurso disponível, ou seja, igual a 1.

Os valores dos desvios padrão ( $\sigma$ ) das atividades que serão utilizados nos cálculos dos pulmões de tempo estão relacionados abaixo:

$$\sigma_{A4} = \sigma_{B4} = \sigma_{C4} = \sigma_{D4} = 0,5$$

$$\sigma_{A8} = \sigma_{B12} = 1$$

Com os valores de  $\alpha_i$  e  $\beta_i$ , pode-se calcular o tamanho do pulmão de tempo ( $\Delta b$ ) conforme Fórmula 1:

#### Atividades da Corrente Crítica

$$A4 \rightarrow \alpha_{A4} = 0; \beta_{A4} = 1;$$

$$B4 \rightarrow \alpha_{B4} = 0,5; \beta_{B4} = 1;$$

$$A8 \rightarrow \alpha_{A8} = 0,3; \beta_{A8} = 1;$$

$$B12 \rightarrow \alpha_{B12} = 0,4; \beta_{B12} = 1;$$

$$\begin{aligned} \text{Pulmão de Projeto (PP)} = \Delta b &= \{[(1+0+1)*0,5]^2 + [(1+0,5+1)*0,5]^2 + \\ &[(1+0,5+1)*1]^2 + [(1+0,4+1)*1]^2\}^{1/2} = \{[1]^2 + [1,25]^2 + [2,5]^2 + [2,4]^2\}^{1/2} = \{14,6\}^{1/2} = \\ &3,8 \end{aligned}$$

#### Atividades do ramo secundário

$$C4 \rightarrow \alpha_{C4} = 0; \beta_{C4} = 1;$$

$$D4 \rightarrow \alpha_{D4} = 0,5; \beta_{D4} = 1;$$

$$\begin{aligned} \text{Pulmão de Convergência (PC)} = \Delta b &= \{[(1+0+1)*0,5]^2 + \\ &[(1+0,5+1)*0,5]^2\}^{1/2} = \{[1]^2 + [1,25]^2\}^{1/2} = \{2,6\}^{1/2} = 1,6 \end{aligned}$$

A aplicação do Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro na rede de tarefas do Projeto Exemplo com seus respectivos pulmões de tempo estão apresentados na Figura 3.12.

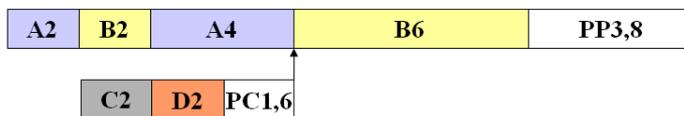


Figura 3.12: Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro aplicado ao Projeto Exemplo

Neste caso o pulmão de projeto (PP) ficou com 3,8 períodos de tempo e o pulmão de convergência (PC) com 1,6 períodos de tempo. A Figura 3.12 exhibe também a localização destes dois pulmões de tempo.

#### 3.3.4.6. Monitoramento e Controle dos Pulmões

De acordo com Calia (2004), no método da Corrente Crítica, ao invés de se controlar uma grande quantidade de atividades individualmente, a administração do projeto passa a ser feita por meio do monitoramento e controle dos pulmões de tempo. Os gráficos dos pulmões de tempo mostram o tempo de atraso acumulado quando as atividades não são concluídas dentro do prazo estimado.

Para Steyn (2002), tanto o Pulmão de Projeto quanto o Pulmão de Convergência precisam ser monitorados periodicamente, pois o risco de um projeto sofrer atraso é medido por meio do consumo do seu pulmão de tempo.

A rede de atividades apresentada no item 3.3.3.3 e utilizada como exemplo da Corrente Crítica mostra a inclusão de dois pulmões de tempo. Seguindo este exemplo, são necessários dois gráficos para monitoramento e controle dos pulmões de tempo.

O primeiro é o gráfico para monitorar o Pulmão de Convergência que exhibe o tempo consumido na única atividade pertencente ao ramo secundário da rede de atividades. As atividades presentes no ramo secundário de um projeto fazem parte do caminho não crítico do projeto.

O segundo gráfico de controle de pulmões, que deve ser utilizado na rede de atividades apresentada anteriormente, é para monitorar o Pulmão do Projeto. Os

eventuais atrasos que ocorrerem nas atividades da Corrente Crítica terão seus atrasos acumulados no gráfico de controle do Pulmão de Projeto. A Figura 3.13 mostra um exemplo do gráfico de controle dos pulmões.

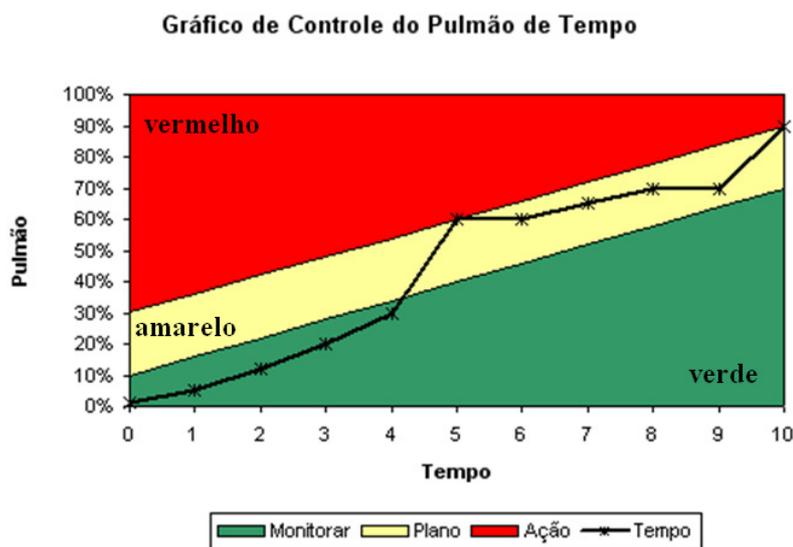


Figura 3.13: Gráfico de controle dos pulmões.  
Fonte: Campanini (2008)

No gráfico apresentado na Figura 3.13, pode ser visto o percentual de consumo do pulmão de tempo em virtude de eventuais atrasos registrados na execução das atividades do projeto. A abscissa representa períodos de tempo do projeto e a ordenada representa o percentual de consumo do pulmão de tempo.

Segundo Campanini (2008), pelo fato de cada projeto possuir prazos diferentes, os períodos da linha tempo serão estabelecidos de acordo com a sua duração. Por exemplo, se um determinado projeto estiver planejado para ser realizado em 10 semanas, cada intervalo da linha tempo do gráfico será de uma semana.

As cores que formam o gráfico, verde (área inferior do gráfico), amarela (área intermediária do gráfico) e vermelha (área superior do gráfico), possuem significados diferentes. Quando um ponto, após atualização do projeto, fica sobre a área verde do gráfico, nenhuma ação deverá ser tomada. Apenas o monitoramento do gráfico por meio das atualizações do projeto deve continuar. Se em um determinado período da linha de tempo o ponto ficar localizado na área de cor amarela do gráfico, um plano de ação deverá ser elaborado. Este plano de ação somente será implantado se o ponto estiver localizado sobre a área vermelha do gráfico.

Quando a evolução das atividades de um projeto é atualizada e atrasos são constatados, este é transferido para o pulmão de tempo, seja ele de Convergência ou de Projeto. A Figura 3.14 mostra a atualização de um projeto em um determinado período de tempo.

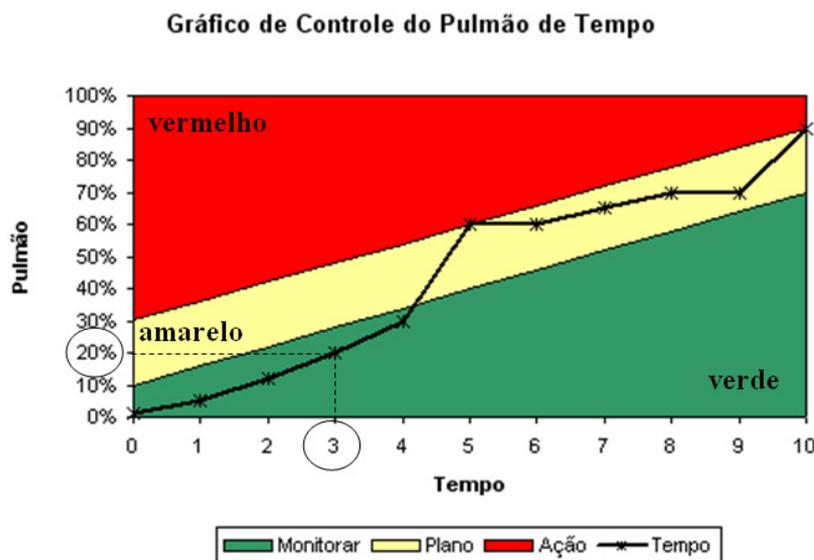


Figura 3.14: Consumo do tempo do pulmão.  
Fonte: Campanini (2008)

No exemplo da Figura 3.14, supõe-se que o gráfico de Pulmão de Projeto tem uma reserva de tempo de 10 dias. Na terceira atualização do projeto ou período 3 da linha tempo, é identificado um atraso acumulado de 2 dias. Esse atraso pode ter acontecido em uma ou mais atividades da rede e foi refletido no Pulmão de Projeto. Os 2 dias de atraso representam um consumo de 20% do Pulmão de Projeto que tem uma reserva de 10 dias. Como pode ser observado, para o ponto 3 da linha de tempo e 20% de consumo do pulmão, o ponto de encontro está localizado na área verde do gráfico.

Na Figura 3.15 alguns pontos na área de cor amarela do gráfico podem ser observados. Com isso, equipes das áreas envolvidas no projeto deverão se reunir para elaborar um plano de ação e assim evitar que o consumo do tempo do pulmão aumente.

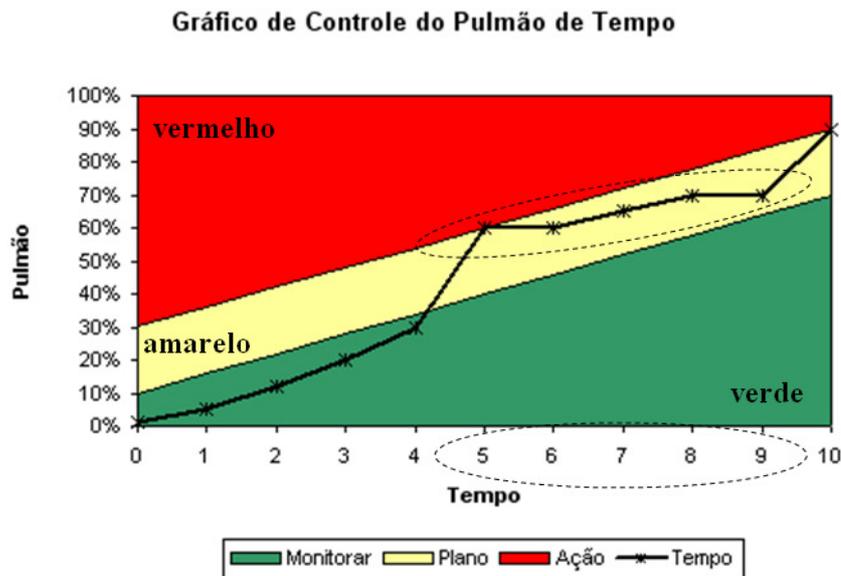


Figura 3.15: Indicador da elaboração do plano de ação.  
 Fonte: Campanini (2008)

O período 5 da linha de Tempo, da Figura 3.15, apresentou o primeiro ponto localizado na área de cor amarela em transição para a vermelha. Neste momento, ao identificar a localização do ponto nesta área, um plano de ação deve ser criado, mas não implantado.

Nos períodos seguintes da linha de tempo, os pontos continuaram na região de cor amarela do gráfico. Dessa forma, não houve necessidade de implantar do plano de ação criado, pois em nenhum momento o ponto avançou para a área de cor vermelha do gráfico.

Ao observar o período 10, pode-se concluir que o projeto terminou com atrasos constatados em algumas atividades que consumiram cerca de 90% do tempo do pulmão. Porém, não houve atraso em relação à data final do projeto. O atraso na entrega do projeto somente é constatado quando todo o tempo do Pulmão de Projeto é consumido e as atividades ainda não terminaram.

Leach (2004) complementa citando que com um bom gerenciamento dos pulmões, é possível prever se algum problema poderá interferir na programação das atividades de um projeto. Para ele o consumo dos pulmões de tempo é a principal ferramenta de medida de desempenho utilizada pelo método da Corrente Crítica.

### **3.4. A Corrente Crítica em Múltiplos Projetos**

Canonico e Söderlund (2010) citam que as publicações sobre gerenciamento de projetos têm sofrido uma expansão notória nas últimas décadas. Estes autores reforçam que dentre estas publicações, poucas tem sido dedicadas às organizações que trabalham com múltiplos projetos.

Para Serra et al. (2008), quando se trata de ambiente de múltiplos projetos, é comum um recurso crítico ser compartilhado entre outros projetos que acontecem simultaneamente. Dessa forma a capacidade de entrega de projetos de uma organização fica limitada e o gerenciamento desses recursos críticos torna-se fundamental para o sucesso dos projetos e de toda a organização.

Barcaui e Quelhas (2004) reforçam que em ambiente de múltiplos projetos, a quantidade de projetos que a organização vai trabalhar simultaneamente depende diretamente do seu conjunto de recursos, sendo eles internos ou externos. Para estes autores, a combinação de diversas tarefas sincronizadas limita o desempenho dos recursos neste tipo de ambiente. Dessa forma, para esses autores, a restrição deixa de ser os recursos da organização e passa a ser as próprias práticas de gerenciamento que não definem mecanismos de priorização dos recursos e nem levam em consideração suas capacidades.

O método da Corrente Crítica apresentado no capítulo anterior, quando aplicado em ambientes com vários projetos simultâneos que compartilham dos mesmos recursos, auxilia no nivelamento de carga destes recursos e no monitoramento dos prazos dos projetos por meio da identificação do recurso gargalo e da inclusão dos pulmões de tempo.

#### **3.4.1. Identificando a restrição no ambiente de Múltiplos Projetos**

Quando se pensa em um único projeto, sua restrição é a Corrente Crítica, ou seja, sua duração é determinada pela seqüência mais longa de atividades envolvendo a dependência de recursos. Em um ambiente com vários projetos, Leach (2004) afirma que a sua capacidade é dada pelo recurso restrição, também chamado de gargalo ou tambor.

Ainda de acordo com Leach (2004), para aumentar o rendimento nesse tipo de ambiente, é necessário em primeiro lugar identificar a restrição de capacidade da empresa. Geralmente essa restrição pode ser mão-de-obra, máquinas ou até mesmo ser

de caráter político. Tal restrição se torna o tambor para a programação dos múltiplos projetos. Para Goldratt (1998) é o tambor que determinará o ritmo da fábrica ou a velocidade do fluxo.

Em ambientes com vários projetos distintos, a programação do tambor determina a seqüência dos projetos e, ao sincronizá-los com base no recurso gargalo, é possível eliminar quase todas as contenções de recursos (LEACH, 2004).

### **3.4.2. A priorização de projetos**

De acordo com Leach (2004), a priorização dos projetos deverá ser feita antes da programação do recurso tambor. Com a priorização estabelecida, é possível seqüenciar a utilização do tambor.

Para se estabelecer a prioridade entre os projetos, podem ser considerados alguns fatores como data de entrega do projeto, clientes preferenciais, faturamento, lucratividade, multas contratuais, dentre outros.

Goldratt (1998) sugere que a priorização seja dada em função do rendimento da empresa pelo uso da restrição de capacidade. Por exemplo, se existe uma medida direta de rendimento do projeto, ela pode ser usada para auxiliar na priorização dos projetos, dividindo o rendimento do projeto, geralmente em unidades monetárias, pela demanda do recurso tambor, geralmente em número de pessoas por hora.

### **3.4.3. A seleção do recurso tambor**

O recurso tambor geralmente é compartilhado entre todos os projetos que compõem o ambiente de múltiplos projetos. Segundo Leach (2004), esta é uma definição do ambiente de múltiplos projetos. Este autor ainda cita que grandes companhias podem ter projetos divididos em grupos e estes grupos compartilham recursos que também estão agrupados. Neste caso pode haver mais de um recurso tambor.

O recurso tambor de uma organização pode alterar ao longo do tempo em função da sua capacidade, ou seja, em determinado momento a empresa pode ter em sua carteira um mix de projetos que demandam determinado recurso durante certo período. Esta demanda pode estourar a capacidade deste recurso e, durante um intervalo de tempo, este recurso passa a ser o tambor da empresa. Leach (2004) chama essa ocorrência de flutuação da restrição de capacidade.

Quando uma flutuação da restrição de capacidade ocorre, é importante que seja avaliada, pois a elevação da capacidade do recurso eleito como tambor pode ser facilmente elevada, como por exemplo, por meio de terceirizações da atividade que utiliza o recurso tambor ou aumento da mão-de-obra.

Leach (2004) acrescenta que muitas empresas possuem restrição de capacidade em recursos considerados crônicos. Estes recursos são aqueles que dificilmente se consegue elevar a capacidade. Pode ser representado por máquinas específicas ou mão-de-obra especializada. Este tipo de recurso certamente é um gargalo para a empresa, com isso ele poderá se tornar o tambor no ambiente de múltiplos projetos. Ainda segundo este autor, a escolha do recurso tambor pode ser feita elegendo o recurso que controla a maior parte do tempo da Corrente Crítica em todos os projetos.

#### **3.4.4. A programação do recurso tambor**

A alocação do recurso tambor ao longo de todos os projetos estabelece a programação do tambor. A programação do tambor é o primeiro determinante da capacidade do ambiente de múltiplos projetos. Ela determina a data de início para cada projeto (LEACH, 2004).

Uma vez estabelecida a programação do recurso tambor, Leach (2004) cita que é importante maximizar o fluxo de projetos que utiliza este recurso, pois dessa maneira, a capacidade do sistema estará sendo melhor aproveitada. Com base na Corrente Crítica de cada projeto, é possível identificar o início e a duração de cada atividade que utiliza o recurso tambor e assim programá-lo.

#### **3.4.5. O Pulmão de Capacidade**

O Pulmão de Capacidade, segundo Leach (2004), é utilizado para garantir que o recurso tambor estará disponível para a atividade de um determinado projeto, quando for necessário. Este tipo de pulmão está situado entre atividades que fazem uso do recurso tambor em projetos distintos, ou seja, toda vez que uma atividade de um projeto, que utiliza o recurso tambor, termina e inicia outra atividade de outro projeto, que também utiliza o recurso tambor, deve-se incluir um Pulmão de Capacidade entre elas.

O Pulmão de Capacidade não influencia a duração do projeto, mas determina quando a atividade que usa o recurso tambor vai iniciar. Segundo Leach

(2004) o tamanho do Pulmão de Capacidade deve ser no mínimo 25% do tempo da duração da atividade no recurso tambor.

#### **3.4.6. Introduzindo novos projetos**

A qualquer momento, novos projetos podem chegar em um ambiente de múltiplos projetos. Segundo Leach (2004), é necessário ter uma lista com as prioridades dos projetos além da programação do tambor. É importante saber também o *status* de todos os projetos em andamento para poder incluir novos projetos no ambiente com vários projetos.

Ainda segundo Leach (2004), a única maneira de programar o novo projeto a ser incluído no ambiente de múltiplos projetos, é por meio da programação do recurso tambor. Para isso deve ser decidida em primeiro lugar a prioridade do novo projeto.

A Corrente Crítica do novo projeto deverá ser determinada e em seguida dever-se-á estabelecer quando será a necessidade pelo uso do recurso tambor. Ao programar a data de utilização do recurso tambor para o novo projeto, sua data de início estará definida (LEACH, 2004).

### **3.5. A Lógica *Fuzzy***

Nesta seção são apresentados os conceitos básicos sobre Lógica *Fuzzy* de modo que sejam suficientes e que possam dar sustentação aos propósitos da utilização desta teoria como ferramenta utilizada na proposta para cálculo de Pulmão de Tempo.

#### **3.5.1. Introdução**

A Lógica Nebulosa, como também é chamada a Lógica *Fuzzy*, passou a ser conhecida em 1965 por meio da publicação do artigo *Fuzzy Sets*. O professor do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade da Califórnia, Lofti Zadeh, foi quem elaborou e publicou este artigo no jornal *Information and Control* nº8.

De acordo com Cox (1994), os princípios vislumbrados pela Lógica *Fuzzy* já existiam bem antes da data da publicação citada no parágrafo anterior. Ele cita que o polonês chamado Jan Luasiewicz, com base no princípio da incerteza, apresentou

pela primeira vez, em torno de 1920, noções da lógica dos conceitos vagos onde é possível admitir um conjunto com valores não precisos.

A principal diferença entre a Lógica *Fuzzy* e a Lógica Booleana, segundo Cox (1994), está na capacidade que a Lógica *Fuzzy* tem de se aproximar do mundo real onde não existem apenas respostas extremas, ou seja, ela permite o meio termo que é a possibilidade de medir o grau de proximidade da solução exata.

Para exemplificar os conceitos básicos da Lógica *Fuzzy*, foram utilizados alguns exemplos adaptados de Cox (1994), representados nas Figuras 3.16 e 3.17. Na Figura 3.16 são apresentados 2 copos. Como pode ser observado, um copo está totalmente vazio e o outro está totalmente cheio, ou seja, não existem incertezas quanto a resposta para a pergunta: os copos da Figura 3.16 estão cheios ou vazios?

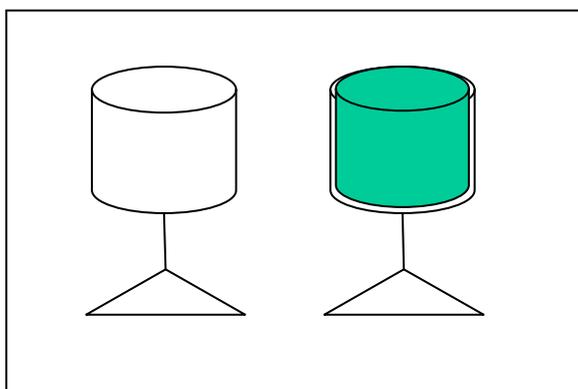


Figura 3.16: Exemplo de um copo vazio e um copo cheio

Fonte: Adaptado de Cox (1994)

Já quando se observa a Figura 3.17, a seguir, não se pode ter a mesma certeza para responder a questão: os copos estão cheios ou vazios?

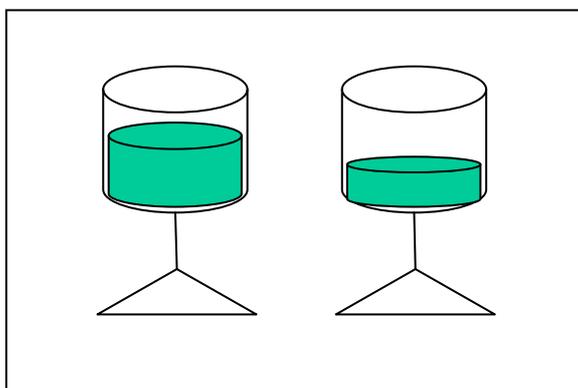


Figura 3.17: Exemplo de copos com medidas variadas

Fonte: Adaptado de Cox (1994)

A resposta para esta pergunta diz respeito ao ponto principal da Lógica *Fuzzy*. Quando observamos os copos da Figura 3.17, sentimos certa dificuldade em responder a questão de maneira exata, o que possibilita que as respostas sejam afirmações do tipo: “o copo da esquerda está quase cheio” ou “o copo da direita está mais vazio do que o outro”. Segundo Cox (1994), a partir de informações ou respostas incertas como estas foram criadas linguisticamente escalas de valores que permitem quantificar ou mensurar o volume de líquido dos copos citados anteriormente.

Para isso são criadas variáveis lingüísticas que, ainda de acordo com Cox (1994), são de extrema importância, pois, possibilitam encontrar o grau de incerteza que está presente nestas variáveis e traduzi-lo para um modelo matemático. Na Lógica *Fuzzy*, esta possibilidade é chamada grau de participação ou grau de pertinência.

### 3.5.2. Conjuntos *Fuzzy*

Neste tópico do trabalho é apresentado o que difere a teoria de conjuntos *Fuzzy* da teoria de conjuntos Clássica.

Enquanto a teoria de conjuntos *Fuzzy* representa a forma mais tradicional para tratamento de informações imprecisas e vagas, permitindo assim graduações na pertinência de um elemento a um dado conjunto, na teoria de conjuntos Clássica um elemento pertence ou não pertence a um determinado conjunto, o qual é representado por uma função característica (ZADEH, 1965).

Um exemplo de conjuntos Clássicos pode ser representado pelas funções:

$$F(x) = 1 \text{ se “x” pertence a “A”}$$

$$F(x) = 0 \text{ se “x” não pertence a “A”}$$

Dessa forma, quando se pensa em um conjunto Clássico de pessoas com estatura alta considerada igual ou acima de 180 centímetros tem-se:

$$A = \{ \text{“x” pertence a “A” quando } X \geq 180 \}$$

Mantendo o exemplo de conjunto Clássico de pessoas com estatura alta, a Figura 3.18, a seguir, mostra a localização dos valores de “x” apresentados a seguir:

$x_1 = 162$  cm;  
 $x_2 = 181$  cm;  
 $x_3 = 171$  cm;  
 $x_4 = 187$  cm;  
 $x_5 = 179$  cm;

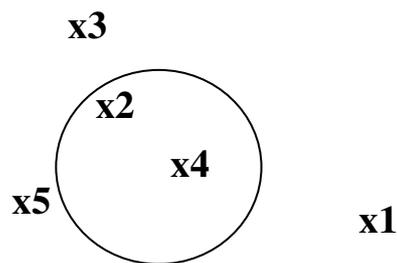


Figura 3.18: Conjunto Clássico pessoas com estatura alta

Como pode ser observado na Figura 3.18, pessoas com estatura igual ou acima de 180 centímetros pertencem ao conjunto e pessoas menores que 180 centímetros não pertencem ao conjunto Clássico de pessoas com estatura alta.

Com a teoria de conjuntos *Fuzzy*, as outras estaturas citadas no exemplo acima deixam de ser pertencentes ou não pertencentes ao conjunto e passam também a pertencer parcialmente, ou seja, passam a apresentar certo grau de pertinência ao conjunto em questão. Tal pertinência é determinada por um valor entre 0 e 1 que é calculado de acordo com a função de pertinência de um conjunto, sendo que o valor 0 representa completa exclusão e o valor 1 indica completa pertinência de um certo elemento ao conjunto. Os valores intermediários situados entre 0 e 1 representam o grau de pertinência do elemento ao conjunto.

O conjunto da Figura 3.19, a seguir, representa o conjunto *Fuzzy* do mesmo exemplo citado anteriormente.

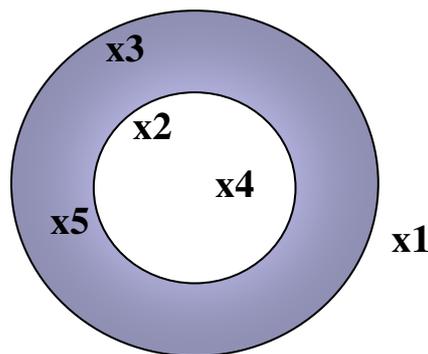


Figura 3.19: Conjunto *Fuzzy* pessoas com estatura alta

Como pode ser visto na Figura 3.19, os elementos  $x_2$  e  $x_4$  pertencem completamente ao conjunto *Fuzzy* de pessoas com estatura igual ou acima de 180 centímetros. O elemento  $x_1$  está completamente fora do conjunto *Fuzzy* apresentado. A diferença está nos elementos  $x_3$  e  $x_5$  que estão localizados em uma região nebulosa do conjunto *Fuzzy*, ou seja, ambos apresentam certo grau de pertinência inferior a 1 e superior a 0. O elemento  $x_3$  está relacionado com uma estatura de 171 centímetros que é menor que o elemento  $x_5$  de estatura igual a 179 centímetros. Quanto mais próximo do círculo central estiver o elemento, significa que sua pertinência está mais próxima de 1 ou da estatura de 180 centímetros.

### 3.5.3. Variáveis Lingüísticas e Funções de Pertinência

Segundo Ganga (2010), uma variável lingüística pode ser classificada como sendo uma variável que tem seu valor expresso qualitativamente por termos lingüísticos e quantitativamente por uma função de pertinência.

Para Klir e Yuan (1995), os estados de cada variável lingüística são expressos pelos chamados termos lingüísticos. Os termos lingüísticos podem ser definidos por uma variável base com valores numéricos reais dentro de um intervalo específico. Um exemplo de variável lingüística seria “temperatura” e os termos lingüísticos utilizados para classificá-la dentro de um determinado intervalo de valores poderia ser “baixa”, “média” e “alta”.

Uma função de pertinência é descrita por Pedrycz e Gomide (1998) como sendo uma função numérica gráfica ou tabulada que atribui valores de pertinência para valores discretos de uma variável em seu intervalo numérico.

Biondi Neto et al. (2006) citam que existem vários tipos de funções de pertinência tais como: linear, triangular, trapezoidal, gaussiana, curva “Z” e sigmóide. Esses autores salientam que não existem regras específicas para o uso destas funções de pertinência, contudo, eles indicam algumas aplicações para cada um dos tipos apresentados, tais como:

**Linear:** utilizada para aproximação de conceitos não bem compreendidos;

**Triangular e trapezoidal:** são as mais utilizadas. Geralmente são utilizadas em Engenharia de Processos;

**Gaussiana, curva “Z” e sigmóide:** utilizadas para modelagem dinâmica, problemas de filas e qualificadores de frequência.

Utilizando o mesmo exemplo citado anteriormente sobre o conjunto *Fuzzy* de elementos relacionados com a estatura de uma pessoa, ao estabelecer a função de pertinência do conjunto de pessoas com estatura alta, considera-se que uma pessoa com estatura inferior a 170 centímetros não tem nenhuma pertinência ao conjunto de pessoas com estatura alta e pessoas com 180 centímetros ou mais são completamente pertinentes a este conjunto. A Figura 3.20 mostra a função pertinência para este conjunto.

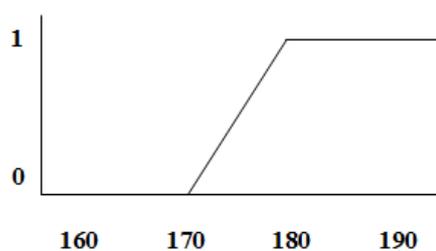


Figura 3.20: Função pertinência do conjunto *Fuzzy* para estatura alta

As equações de reta a seguir representam o gráfico mostrado na Figura 3.20.

$$F(x) = 1 \text{ se } x > 180 \text{ centímetros;}$$

$$F(x) = (x - 170)/10 \text{ se } 170 \leq x \leq 180 \text{ centímetros;}$$

$$F(x) = 0 \text{ se } x < 170 \text{ centímetros.}$$

Quando acrescenta ao gráfico as funções de pertinência para pessoas com estatura baixa e para pessoas com estatura média, a Figura 3.21 mostra estas funções de pertinência juntamente com a de pessoas com estatura alta.

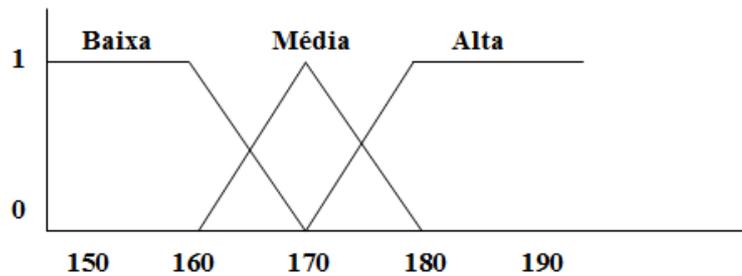


Figura 3.21: Funções de pertinência dos conjuntos *Fuzzy* para estatura baixa, média e alta.

As equações de reta a seguir representam as funções de pertinência do conjunto *Fuzzy* de estatura baixa e estatura média apresentadas na Figura 3.21.

Estatura baixa:

$$F(x) = 1 \text{ se } x < 160 \text{ centímetros;}$$

$$F(x) = (170 - x)/10 \text{ se } 160 \leq x \leq 170 \text{ centímetros;}$$

$$F(x) = 0 \text{ se } x > 170 \text{ centímetros.}$$

Estatura média:

$$F(x) = 0 \text{ se } x < 160 \text{ centímetros;}$$

$$F(x) = (180 - x)/10 \text{ se } 170 \leq x \leq 180 \text{ centímetros;}$$

$$F(x) = (x - 160)/10 \text{ se } 160 \leq x \leq 170 \text{ centímetros;}$$

$$F(x) = 0 \text{ se } x > 180 \text{ centímetros.}$$

#### 3.5.4. Operações com Conjuntos *Fuzzy*

De acordo com Ganga (2010), a teoria dos conjuntos *Fuzzy* pode ser classificada como sendo uma extensão da teoria dos conjuntos clássicos. A seguir, são apresentadas as principais operações entre conjuntos *Fuzzy*. Para isso serão utilizados dois conjuntos A e B, como mostrados na Figura 3.22.

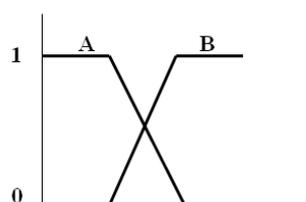


Figura 3.22: Conjuntos A e B

Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2006)

**União:** a união entre dois conjuntos Fuzzy A e B pode ser representada por  $A \cup B$  ou  $\max [A,B]$  e sua representação gráfica está na Figura 3.23 abaixo.

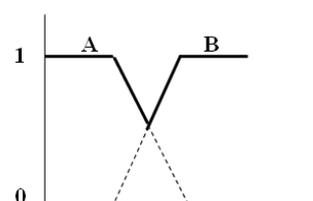


Figura 3.23: União entre os conjuntos A e B

Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2006)

**Intersecção:** a intersecção entre dois conjuntos Fuzzy A e B pode ser representada pela expressão  $A \cap B$  ou  $\min [A,B]$  e visualizada na Figura 3.24 que segue.

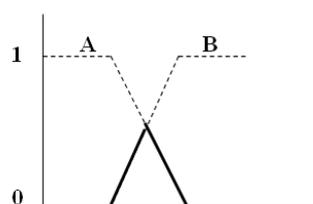


Figura 3.24: Intersecção entre os conjuntos A e B

Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2006)

**Complemento:** o complemento de um conjunto Fuzzy A pode ser representado por  $\neg A$ . Na Figura 3.25, pode ser observado o complemento  $A'$  do conjunto A.

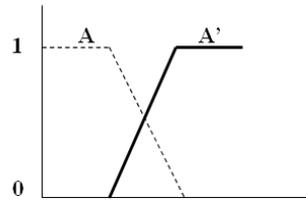


Figura 3.25: Conjunto A e seu complemento A'

Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2006)

### 3.5.5. Sistema Lógico Fuzzy

De acordo com Cox (1994), um sistema lógico *Fuzzy* pode ser representado por três operações básicas, as quais podem ser vistas na Figura 3.26.

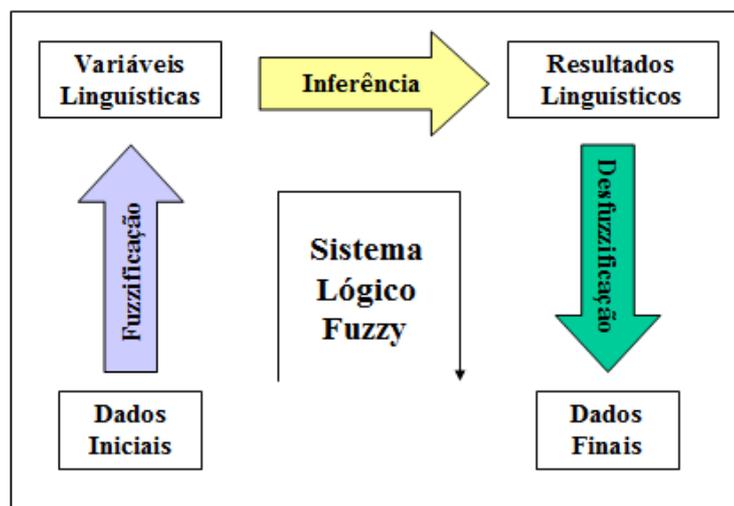


Figura 3.26: Sistema Lógico Fuzzy

Fonte: Adaptado de Cox (1994)

As três operações básicas citadas por Cox (1994) podem ser identificadas na Figura 3.26 por meio das três setas. Sendo assim, primeira operação é a Fuzzificação, a segunda é a Inferência e a terceira é a Desfuzzificação.

#### Fuzzificação

Nesta primeira operação do sistema lógico *Fuzzy*, é feita a análise dos dados de entrada e a transformação desses dados em variáveis lingüísticas. Cox (1994)

ressalta a importância de considerar todos os dados de imprecisão e incerteza para que eles possam ser transformados em variáveis lingüísticas. Este autor ainda acrescenta que na operação de Fuzzificação também são determinadas as funções de pertinência.

Mantendo o exemplo dos copos adaptado de Cox (1994) e citado anteriormente, a operação de Fuzzificação pode ser representada com as Figuras 3.27 e 3.28.

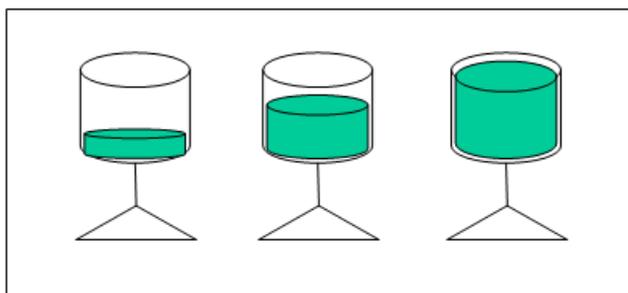


Figura 3.27: Copos com níveis diferentes de líquido

Fonte: Adaptado de Cox (1994)

Como pode ser visualizado na Figura 3.27, existem três copos e cada um com quantidade de líquido distinta. O copo do lado esquerdo está com muito pouco líquido. O copo do centro está com uma quantidade mediana de líquido e o copo da direita está praticamente cheio. Esta Figura exemplifica os dados iniciais que serão transformados.

Com base na quantidade de líquido dos copos da Figura 3.27, as variáveis lingüísticas estabelecidas para este exemplo do nível de líquido nos copos são “Vazio”, “Médio” e “Cheio”.

A Figura 3.28 que segue mostra as respectivas funções de pertinência para as variáveis lingüísticas apresentadas.

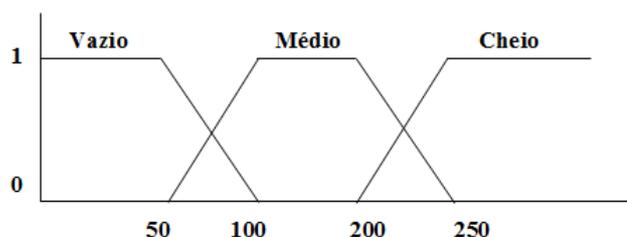


Figura 3.28: Funções de pertinência

Fonte: Adaptado de Cox (1994)

### Inferência

Nesta segunda operação, Cox (1994) cita que é o momento de criação das regras ou proposições por meio da associação das variáveis já criadas.

Para Barros e Bassanezi (2006), uma base de regras *Fuzzy* pode ter a seguinte forma:

Regra 1: “Proposição *Fuzzy* 1” ou;

Regra 2: “Proposição *Fuzzy* 2” ou;

Regra n: “Proposição *Fuzzy* n”, sendo que cada proposição tem a forma:

**SE** “condição” **ENTÃO** “ação”.

Onde cada “condição” e cada “ação” são valores atribuídos por variáveis lingüísticas.

Ainda de acordo com Barros e Bassanezi (2006), a base de regras relaciona de maneira lógica as informações que formam a base de conhecimentos do sistema *Fuzzy*, podendo-se afirmar que quanto mais forem precisas essas informações, menos nebulosas serão as relações que representam a base de conhecimentos.

Ohdar e Ray (2004) estabelecem uma base de regras para um ambiente de cadeia de suprimentos. A proposta desses autores é um sistema *Fuzzy* baseado em regras com a finalidade de medir o desempenho de fornecedores. Para isso, quatro variáveis lingüísticas de entrada foram definidas como sendo: Qualidade, Entrega, Serviços e Preço. E a variável lingüística de saída foi definida como Desempenho do Fornecedor. Os termos lingüísticos para caracterizar cada subconjunto *Fuzzy* foram: Muito Baixo (MB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A) e Muito Alto (MA).

Com isso, o mapeamento da base de regras, que geralmente é feito com o auxílio de um especialista na área, de acordo com o exemplo de Ohdar e Ray (2004) fica sendo:

**SE** x1 é MB **E** x2 é B **E** x3 é M **E** x4 é B **ENTÃO** y1 é MB

**SE** x1 é B **E** x2 é MB **E** x3 é B **E** x4 é M **ENTÃO** y1 é MB

**SE** x1 é B **E** x2 é B **E** x3 é A **E** x4 é A **ENTÃO** y1 é B

**SE** x1 é MB **E** x2 é M **E** x3 é M **E** x4 é M **ENTÃO** y1 é M

**SE** x1 é B **E** x2 é M **E** x3 é M **E** x4 é M **ENTÃO** y1 é M

**SE** x1 é M **E** x2 é M **E** x3 é MB **E** x4 é A **ENTÃO** y1 é A

**SE x1 é A E x2 é A E x3 é B E x4 é MA ENTÃO y1 é A**

**SE x1 é A E x2 é A E x3 é B E x4 é MA ENTÃO y1 é MA**

**SE x1 é MA E x2 é MA E x3 é M E x4 é MA ENTÃO y1 é MA**

**SE x1 é A E x2 é A E x3 é A E x4 é MA ENTÃO y1 é MA**

Uma vez criada a base de regras, será necessário realizar o processamento *Fuzzy* propriamente dito, ou seja, realizar a inferência que é a transformação das variáveis lingüísticas em resultados lingüísticos, conforme mostrado na Figura 3.26 deste capítulo.

Para Ganga (2010) a inferência ou a máquina de inferência, como também pode ser chamada esta operação, é de fundamental importância para o sistema *Fuzzy*, já que fornece a saída a partir de cada entrada *Fuzzy* e da relação definida pela base de regras.

Ainda de acordo com Ganga (2010), a literatura sobre lógica *Fuzzy* apresenta basicamente dois métodos de inferência *Fuzzy*: o Método de Mamdani e o Método de Kang-Takagi-Sugeno.

#### *- O Método de Mamdani*

O Método de Mamdani, segundo Domingos (2004), utiliza as operações de intersecção e união entre conjuntos, por meio de operadores de mínimo e máximo respectivamente. Yager e Filev (1994) afirmam que este método é bastante utilizado e com sucesso reconhecido. A Figura 3.29 ilustra a utilização do Método de Mamdani.

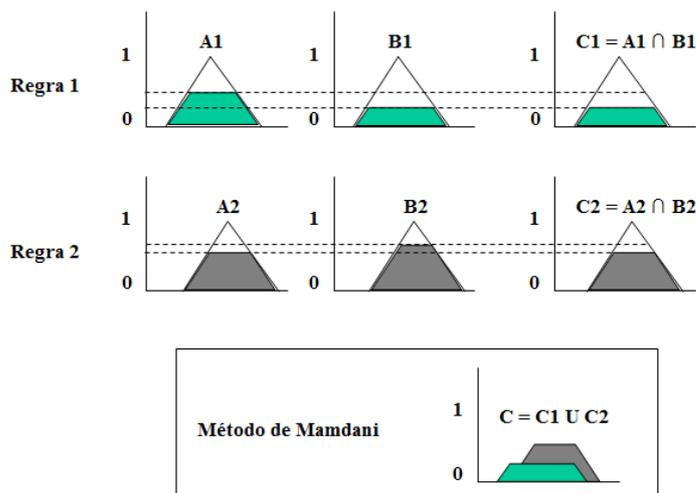


Figura 3.29: Utilização do Método de Mamdani.

Fonte: Adaptado de Ganga (2010).

Como pode ser observado na Figura 3.29, o Método de Mamdani é aplicado na operação de Inferência sobre o resultado de duas regras. Neste exemplo foi estabelecida a união entre os conjuntos C1 e C2 resultando no conjunto C.

#### - O Método de Kang-Takagi-Sugeno

A diferença do Método de Mamdani para o Método de Kang-Takagi-Sugeno, segundo Ganga (2010), está no fato de que a variável de resposta de cada regra é dada explicitamente por uma função dos valores de entrada dessa regra.

Citando o exemplo de Barros e Bassanezi (2006) para este método, tais autores sugerem um caso com duas regras, sendo cada uma com duas variáveis de entrada e uma de saída, como segue:

Regra 1: “SE  $x_1$  é A11 E  $x_2$  é A12 ENTÃO  $\mu_1 = g_1(x_1, x_2)$ ”

Regra 2: “SE  $x_1$  é A21 E  $x_2$  é A22 ENTÃO  $\mu_2 = g_2(x_1, x_2)$ ”

Como conclusão, Barros e Bassanezi (2006) fazem uma comparação entre os Métodos de Mamdani e Kanga-Takagi-Sugeno e fazem algumas observações:

1 - O Método de Mamdani é mais simples e mais intuitivo que o Método de Kanga-Takagi-Sugeno;

2 - O Método de Mamdani é mais eficiente que o Método de Kanga-Takagi-Sugeno quanto à rapidez computacional;

3 - O Método de Mamdani tem menos propriedades matemáticas que o Método de Kanga-Takagi-Sugeno;

### Desfuzzificação

Na operação de Desfuzzificação, segundo Cox (1994), acontece a conversão dos números nebulosos *Fuzzy* em números reais, ou seja, define-se matematicamente um conjunto de saída.

Barros e Bassanezi (2006) reforçam que a Desfuzzificação transforma o conceito lingüístico, obtido na operação de Inferência, em um valor numérico bem definido, o qual é utilizado como saída do sistema *Fuzzy*.

Ganga (2010) cita que os métodos mais conhecidos para a Desfuzzificação são o Método do Centro de Gravidade e o Método do Centro dos Máximos. Cox (1994) complementa que o Método do Centro dos Máximos ou Método da Altura Máxima (nomenclatura utilizada em seu livro) é composto por três técnicas. São elas: a média máxima, o centro dos máximos e simplesmente o ponto de máximo.

#### *- Método do Centro de Gravidade*

Para Barros e Bassanezi (2006) este método é semelhante à média ponderada para distribuição dos dados. Ele fornece a média das áreas de todas as figuras que representam os graus de pertinência de um subconjunto *Fuzzy*.

Cox (1994) complementa citando que este método é o mais utilizado por ser relativamente fácil de executar seus cálculos e aplicar as mais variadas geometrias. A Figura 3.30 mostra um exemplo para o Método do Centro de Gravidade.

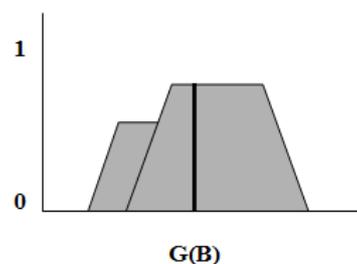


Figura 3.30: Método do Centro de Gravidade.  
Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2006).

#### - Método do Centro dos Máximos

O Método do Centro dos Máximos leva em consideração, segundo Ganga (2010) apenas as regiões de maior possibilidade entre os possíveis valores da variável que modela o conceito *Fuzzy* em questão. Na Figura 3.31 pode ser observado um exemplo do Método do Centro dos Máximos, onde “i” e “s” são os valores utilizados para calcular C(B).

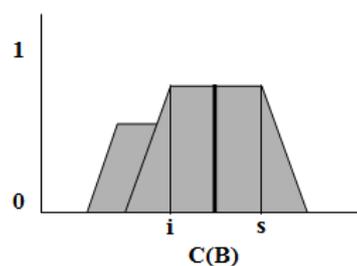


Figura 3.31: Método do Centro dos Máximos.  
Fonte: Adaptado de Barros e Bassanezi (2006).

### 3.5.6. Aplicação da Lógica *Fuzzy*

Neste tópico é apresentado um exemplo completo da aplicação da Lógica *Fuzzy*. A apresentação deste exemplo segue as três operações básicas apresentadas na Figura 3.26 do tópico 3.5.5 deste capítulo. Para isso foi elaborado um exemplo que mostra, como resultado, se a pessoa está abaixo, normal ou acima do seu peso ao compará-lo com sua estatura.

### Fuzzificação

Na primeira operação da aplicação da Lógica *Fuzzy*, a fuzzificação, ocorre a transformação dos dados de entrada ou valores numéricos de uma variável lingüística em termos lingüísticos. Para este exemplo são duas variáveis lingüísticas: “estatura” e “peso”.

Os termos lingüísticos considerados para a variável lingüística “estatura” são três: “baixa”, “média” e “alta”. A Figura 3.32 mostra as funções de pertinência para cada um dos seus termos lingüísticos.

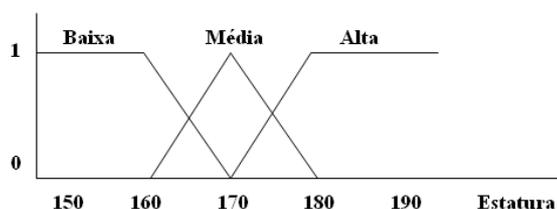


Figura 3.32: Funções de pertinência referentes à estatura de uma pessoa

Para a outra variável lingüística, “peso” foi adotado três termos lingüísticos, “leve”, “normal” e “pesado”. A Figura 3.33, a seguir, apresenta esta variável e seus termos com suas respectivas funções de pertinência.

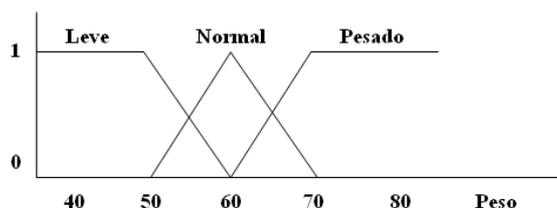


Figura 3.33: Funções de pertinência referentes ao peso de uma pessoa

Como pode ser visto nas Figuras 3.32 e 3.33, foram utilizadas funções de pertinência triangulares e trapezoidais pelo fato de serem funções simples e de fácil compreensão. Como amostra para o exemplo, foi considerada uma pessoa com 1,70m de estatura e 68kg de peso.

A Figura 3.34 exhibe a estatura da pessoa amostrada e seus respectivos graus de pertinência.

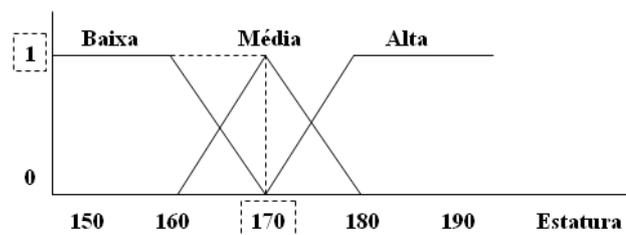


Figura 3.34: Estatura e grau de pertinência

Como observado na Figura 3.34, a estatura de 1,70m tem zero grau de pertinência com as funções de pertinência referentes às estaturas “baixa” e “alta” e grau de pertinência 1 com a função de pertinência referente à estatura “média”.

A seguir, a Figura 3.35 apresenta o peso da pessoa utilizada no exemplo e seus respectivos graus de pertinência.

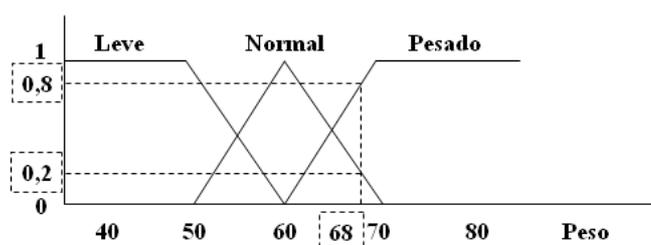


Figura 3.35: Peso e grau de pertinência

De acordo com a Figura 3.35, a pessoa que pesa 68kg possui 0,2 grau de pertinência relacionado com a função de pertinência “normal” e 0,8 grau de pertinência referente à função de pertinência “pesado”.

Dessa forma, os valores *fuzzy* resultantes da operação de fuzzificação para uma pessoa com estatura de 1,70m que pesa 68kg são: “estatura média” com grau de pertinência 1; “peso normal” com grau de pertinência 0,2; e “peso pesado” com grau de pertinência 0,8. Estes valores serão trabalhados na próxima operação que é a Inferência.

### Inferência

Nesta operação são estabelecidas as regras do tipo “SE → ENTÃO” que direciona os resultados obtidos para um novo conjunto. Para o exemplo tratado neste

capítulo, a Figura 3.36 mostra o conjunto “resultado” que foi elaborado para suportar as condições das regras.

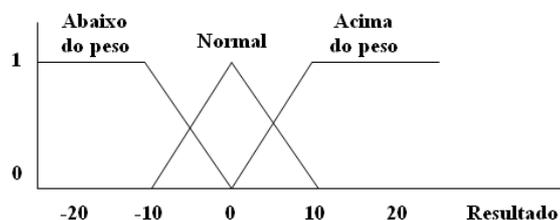


Figura 3.36: Conjunto resultado

Nesse novo conjunto apresentado na Figura 3.36 são abordadas as possíveis situações quando se compara a estatura com o peso de uma pessoa. Como pode ser visto, dependendo dos valores analisados das variáveis lingüísticas, a pessoa pode estar abaixo do peso, normal ou acima do peso.

A seguir, estão as regras estabelecidas que confrontam as duas variáveis lingüísticas “estatura” e “peso” levando ao novo conjunto denominado “resultado”.

### Regras

- 1 - SE pessoa for “Baixa” E “Leve” ENTÃO ela está “Abaixo do peso”
- 2 - SE pessoa for “Baixa” E “Normal” ENTÃO ela está “Normal”
- 3 - SE pessoa for “Baixa” E “Pesado” ENTÃO ela está “Acima do peso”
- 4 - SE pessoa for “Média” E “Leve” ENTÃO ela está “Abaixo do peso”
- 5 - SE pessoa for “Média” E “Normal” ENTÃO ela está “Normal”
- 6 - SE pessoa for “Média” E “Pesado” ENTÃO ela está “Acima do peso”
- 7 - SE pessoa for “Alta” E “Leve” ENTÃO ela está “Abaixo do peso”
- 8 - SE pessoa for “Alta” E “Normal” ENTÃO ela está “Normal”
- 9 - SE pessoa for “Alta” E “Pesado” ENTÃO ela está “Acima do peso”

Com base no resultado da fuzzificação do exemplo, foi encontrado um único valor de pertinência para a “estatura” (“estatura média” com grau de pertinência 1) e 2 valores de pertinência para o “peso” (“peso normal” com grau de pertinência 0,2 e “peso pesado” com grau de pertinência 0,8).

A partir desses resultados obtidos na fuzzificação, serão consideradas as regras 5 e 6. A regra 5 considera a “estatura média” com grau de pertinência 1 e o “peso normal” com grau de pertinência 0,2, o que leva ao “resultado normal” do novo conjunto estabelecido. Já a regra 6 ao considerar também a “estatura média” com grau de pertinência 1, mas agora com o “peso pesado” com grau de pertinência 0,8, aponta para um “resultado acima do peso” do novo conjunto.

Como método de inferência, será utilizado o Método de Mamdani que, de acordo com o que foi apresentado no item anterior deste capítulo, além de geralmente ser um método mais usado, ele também apresenta algumas vantagens. A Figura 3.37, na seqüência do texto, mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a regra 5 com a operação de intersecção (mínimo).

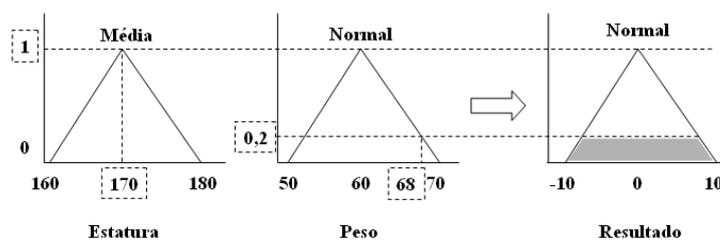


Figura 3.37: Intersecção entre os conjuntos da Regra 5

Ao observar a Figura 3.37, é possível notar o conjunto resultante da intersecção entre os conjuntos “estatura” e “peso”.

A Figura 3.38, mostra a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 6. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultante.

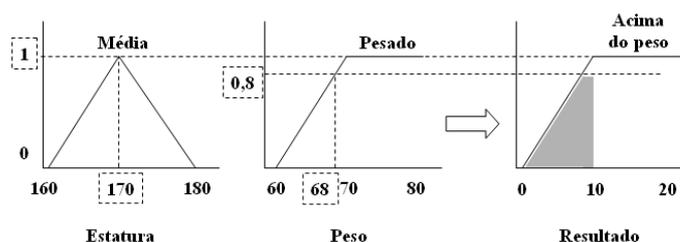


Figura 3.38: Intersecção entre os conjuntos da Regra 6

A partir dos conjuntos resultantes mostrados nas Figuras 3.37 e 3.38, é aplicada a operação de união entre eles por meio do Método de Mamdani. A Figura 3.39 mostra esta operação.

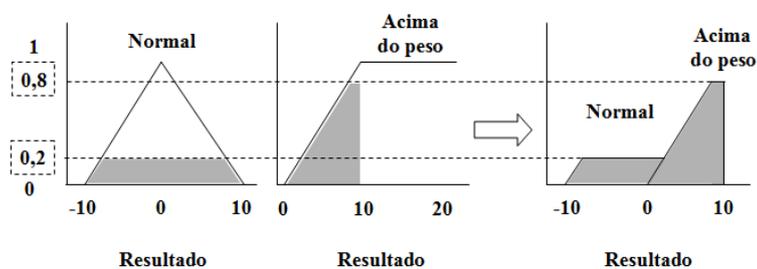


Figura 3.39: União entre os conjuntos resultantes das Regras 5 e 6

O conjunto resultante, mostrado na Figura 3.39, é o resultado da operação de inferência e será utilizado na operação de desfuzzificação.

#### Desfuzzificação

Na operação de desfuzzificação ocorre a transformação do conjunto *fuzzy* em um valor numérico. Para o conjunto resultante da operação de inferência será utilizado o Método do Centro de Gravidade, que foi apresentado no item anterior deste capítulo.

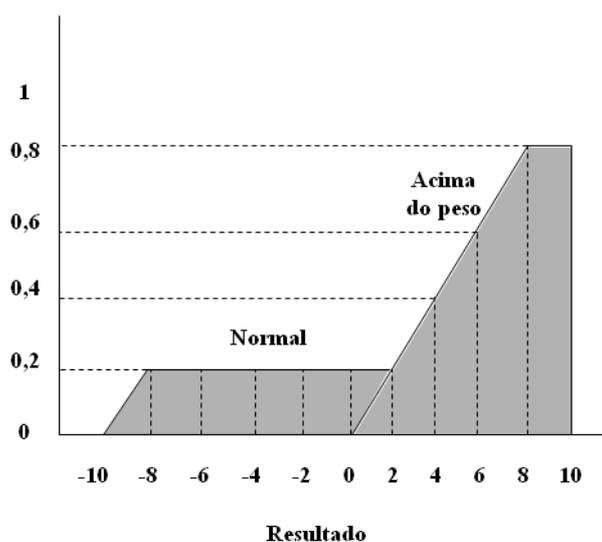


Figura 3.40: Conjunto resultante da operação de Inferência

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 3.40 serão considerados 9 pontos (-8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8). A partir desta consideração, segue cálculo do Centro de Gravidade (CG):

$$\begin{aligned} \text{Centro de Gravidade (CG)} &= (-8 * 0,2) + (-6 * 0,2) + (-4 * 0,2) + (-2 * \\ &0,2) + (0 * 0,2) + (2 * 0,2) + (4 * 0,4) + (6 * 0,6) + (8 * 0,8) / 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 \\ &+ 0,2 + 0,4 + 0,6 + 0,8 = 2,7 \end{aligned}$$

Com base na aplicação da Lógica Fuzzy e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Defuzzificação, pode-se concluir que a pessoa amostrada que tem 1,7m e 68kg, está 2,7kg acima do seu peso considerado normal.

#### **4. Caracterização da empresa estudada e do ambiente de simulação**

Neste capítulo é apresentada a empresa estudada, suas principais dificuldades perante o gerenciamento de projetos no ambiente de múltiplos projetos e o recorte para a realização da simulação.

##### **4.1. A Empresa estudada e seus produtos**

A empresa estudada tem no município de Araraquara, estado de São Paulo, sua principal unidade. Possui 145.000 m<sup>2</sup> de área construída em um terreno de 838.000 m<sup>2</sup>. Esta unidade é uma indústria metal-mecânica fabricante de bens de capital de grande porte e conta com um quadro de aproximadamente 2.000 funcionários, entre diretos e indiretos.

Sua consolidação ocorreu por meio de importantes aquisições e associações unindo a tradição e a experiência de várias empresas. Dessa forma, pôde oferecer ao mercado soluções integradas e completas para infra-estrutura, atendendo desde o fornecimento de produtos e serviços até sistemas complexos. Realiza atividades de construções e montagens e oferece soluções para os mercados de energia elétrica, óleo, gás, petroquímica, siderurgia e mineração, transportes, sucro-álcooleira e indústrias em geral.

No município de Macaé, estado do Rio de Janeiro, a empresa possui uma área de 40.000 m<sup>2</sup>, atendendo a todos os projetos de manutenção, reforma e modernização de plataformas, com especialistas em engenharia básica e de detalhamento, planejamento, fabricação, inspeção, logística de embarque e de montagem.

Na unidade de Araraquara são produzidos equipamentos para atender a demanda dos setores de infra-estrutura do país, tais como: geração de energia, transporte metro-ferroviário, movimentação e levantamento de materiais, cimento e mineração, portuário, siderurgia, petróleo e petroquímicos, além de realizar serviços de reformar equipamentos.

##### **4.2. O Gerenciamento de Projetos na empresa estudada**

O gerenciamento dos projetos na empresa estudada é feito por meio dos cronogramas que são elaborados para cada projeto vendido. Estes cronogramas são

formados com a rede das principais atividades que conduzem o projeto a sua data de entrega.

A estimativa de tempos para as atividades das etapas dos projetos acontece na fase de orçamento do projeto. É nesta fase que todos os custos inerentes aos futuros equipamentos que se pretende fabricar são estimados.

A definição das quantidades de horas ou dias de trabalho para realização de cada uma das atividades do projeto é feita por meio de reuniões agendadas com as pessoas especialistas no assunto de cada área para que se consiga extrair, da sua experiência com projetos anteriores, os tempos que serão atribuídos ao projeto atual.

Cada especialista da área envolvida no projeto acaba incluindo um “tempo extra” nas suas estimativas para aumentar a chance de se cumprir o prazo de entrega do projeto. Depois de realizar as reuniões com estas pessoas, a área de orçamento fará um cronograma preliminar do projeto que está sendo orçado.

Com os tempos estimados para cada atividade, a rede com as etapas do projeto começa a ser delineada. Uma vez montado este cronograma preliminar, ele será parte fundamental na proposta de venda do projeto, pois documenta os prazos de todas as etapas do projeto orçado.

Quando o projeto orçado se transforma em pedido, este cronograma preliminar servirá de base para construção da rede de atividades mais detalhadas que será parâmetro para gerenciar todo o projeto, ou seja, o cronograma oficial do projeto poderá ser elaborado.

Os cronogramas dos projetos são controlados periodicamente pelos planejadores que, por meio de informações coletadas no sistema ERP da empresa, como por reuniões e avanços físicos, conseguem atualizar a evolução de suas atividades.

As informações extraídas do sistema ERP se referem às horas realizadas. Cada colaborador que trabalha na fabricação de um determinado equipamento marca suas horas em um cartão de apontamento de mão-de-obra. As horas relatadas nestes cartões são digitadas no sistema ERP formando, assim, um banco de dados com todas as horas trabalhadas em um determinado projeto. Semanalmente, essas horas são verificadas e comparadas com as horas orçadas.

São feitas reuniões semanais com as principais áreas da empresa envolvidas na fabricação dos equipamentos. Cada área tem um representante na reunião que pode responder pelos questionamentos ligados aos projetos em pauta. Nestas reuniões são levantadas as causas dos problemas, definidas as ações e os responsáveis

para executá-las. Além disso, são levantados os riscos pertinentes ao projeto e seu grau de impacto no próprio andamento.

O avanço físico é constatado no chão de fábrica, nas áreas onde estão alocadas as peças dos equipamentos. Constantemente, o planejador faz-se presente no chão de fábrica. Sua presença é muito importante para acompanhar toda a evolução do projeto, assim como os possíveis problemas que poderão afetar prazo e custo do projeto.

Com todas essas informações em mãos, os planejadores são capazes de atualizar seus cronogramas, tomar as devidas providências e manter os clientes informados sobre a evolução de seus projetos.

### **4.3. Análise Crítica do Método de gerenciamento utilizado**

Mesmo com todos esses acompanhamentos, monitoramentos e controles, alguns projetos acabam sendo entregues fora do prazo combinado, ultrapassando a data limite, além de algumas vezes estourarem os custos.

Como existem muitos projetos concorrentes em andamento dentro da empresa, o gerenciamento acaba sendo dificultado. Cada projeto é vendido em uma época com eventos contratuais distintos.

Na maioria das vezes, esses eventos estão amarrados ao recebimento financeiro de um determinado percentual do preço de venda. Para que tais eventos não deixem de ser realizados, muitas vezes, uma tarefa iniciada em um projeto é interrompida para iniciar outra em um projeto distinto, mas que resultará no recebimento de um evento importante. Dessa forma, dá-se início a várias atividades ao mesmo tempo, o que acaba comprometendo o andamento e a conclusão de cada um dos projetos.

### **4.4. Proposta para utilização do método da Corrente Crítica na empresa estudada**

A simulação realizada nesta tese fez uso de softwares disponíveis no mercado e utilizou o mesmo procedimento empregado e devidamente adaptado na dissertação de mestrado de Campanini (2008), na qual foi aplicado para simular a realização de um único projeto em uma empresa de bens de capital.

Na dissertação supracitada, foi estabelecido um cronograma de atividades para representar a maioria dos equipamentos fabricados na empresa naquele período do estudo. Este cronograma englobou todo o processo produtivo de um

equipamento, ou seja, desde o momento da elaboração dos seus desenhos até a atividade de expedi-lo.

A variável analisada, na simulação da dissertação, foi o tempo, o qual foi medido em dias. O *lead time* médio dos projetos estudados fica em torno de sete meses ou duzentos e dez dias e, com isso, suas atividades têm durações que permitem uma atualização que seja no mínimo diária. Qualquer atualização inferior a um dia seria inviável, pois, os cronogramas dos projetos, que são os documentos oficiais de acompanhamento dos contratos, têm a duração mínima de um dia para cada atividade.

Os dados coletados para a simulação da dissertação foram originados de especialistas que estimaram seus valores. Tais valores trazem embutidas margens de segurança baseadas nas suas piores experiências anteriores. As durações estimadas para cada uma das atividades da rede do projeto adotada para o estudo podem ser vistas na Figura 4.1.

Atividade	Tempo Estimado
A - Engenharia do Produto	30
B - Planejamento	20
C - Engenharia Industrial	20
D - Suprimentos	40
E - Corte	20
F - Caldeiraria	40
G - Usinagem	20
H - Montagem	20
I - Pintura	10
J - Expedição	10

Figura 4.1: Estimativas de tempo  
Fonte: Adaptado de Campanini (2008)

A seguir, na Figura 4.2, podem ser observados os tempos estimados dispostos nas atividades seqüenciadas na rede de atividades do projeto estudado.

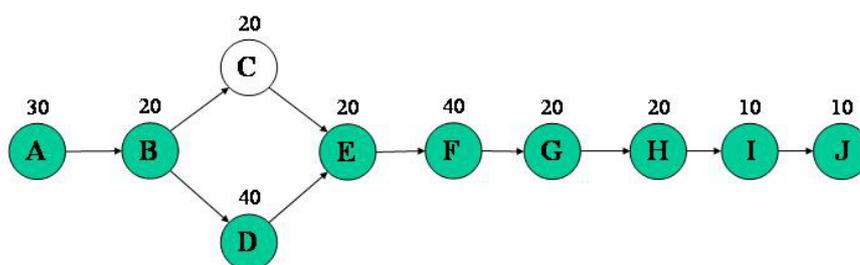


Figura 4.2: Atividades do projeto em rede  
Fonte: Campanini (2008)

A rede de atividades mostrada na Figura 4.2 foi o ponto de partida para o estudo da simulação realizada na dissertação. Ela foi a base para aplicação do método da Corrente Crítica. A Figura 4.3 exibe a mesma rede com parte dos tempos das atividades subtraídos. No estudo o tempo de cada uma das atividades foi reduzido em 50% para a construção dos pulmões de tempo, como demonstrado no tópico 3.3.3.3 deste texto.

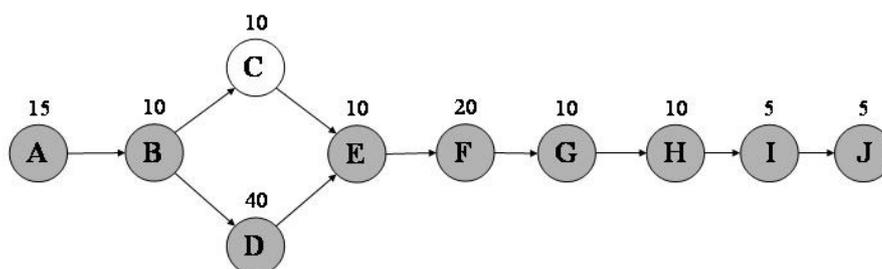


Figura 4.3: Rede de atividades com tempos subtraídos das atividades  
Fonte: Campanini (2008)

Com os tempos subtraídos, no próximo passo do método foi a criação dos pulmões de tempo. Para este exemplo, foram criados dois pulmões de tempo, o pulmão de Convergência e o pulmão de Projeto. Tais pulmões podem ser vistos na rede de atividades apresentada na Figura 4.4.

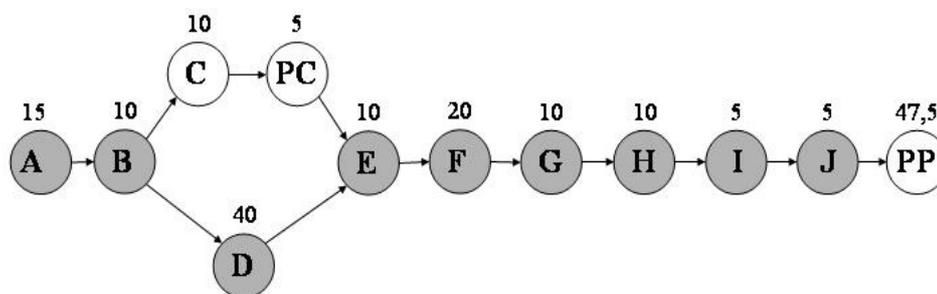


Figura 4.4: Adequação da rede de atividades ao método da Corrente Crítica  
Fonte: Campanini (2008)

Os tempos para a realização das atividades foram gerados aleatoriamente, seguindo uma distribuição de probabilidade lognormal. Esta distribuição é citada por Harrel et al. (1995), por Law e Kelton (2000), por Newbold (2002), por Leach (2004) e por Xie et al. (2010), como sendo a mais adequada para representar os tempos de realização de tarefas.

O andamento do projeto simulado foi monitorado e controlado por meio de gráficos de controle dos pulmões de tempo. Com os tempos das atividades gerados,

os valores foram sendo plotados nos gráficos de controle dos pulmões de tempo e ações foram sendo tomadas à medida que fossem necessárias.

Já para um ambiente com mais de um projeto, outras variáveis precisam ser analisadas e consideradas na simulação. A seguir é apresentada uma primeira prospecção do que foi considerado neste doutorado.

A rede de projetos apresentada na Figura 4.5 mostra a rede de alguns projetos. As letras representam os recursos e os números representam a quantidade de dias para a realização das atividades.

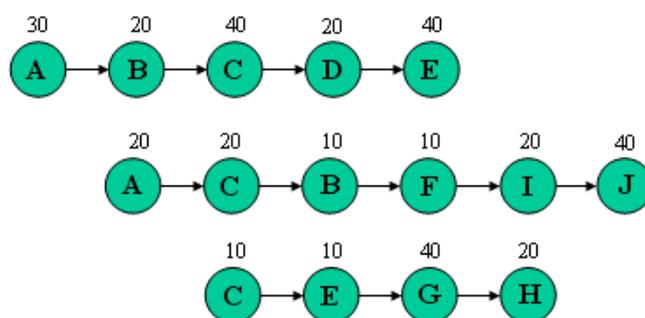


Figura 4.5: Redes de atividades de 3 projetos

O exemplo da Figura 4.5 mostra três redes de atividades, sendo cada uma delas um projeto distinto. Como pode ser observado, cada projeto necessita de recursos específicos, representados por letras, e durante alguns tempos específicos, representados pelos números.

Tendo como base esses três projetos representando um ambiente de múltiplos projetos, o primeiro passo para a aplicação do método da Corrente Crítica, segundo Cohen et al. (2004), é tratar cada projeto da rede como um único projeto. Dessa forma cada projeto terá os tempos de cada uma das atividades reduzidos em 50%, para depois criar os pulmões de tempo dos projetos. A Figura 4.6, a seguir, apresenta essa redução nos tempos das atividades para cada um dos projetos.

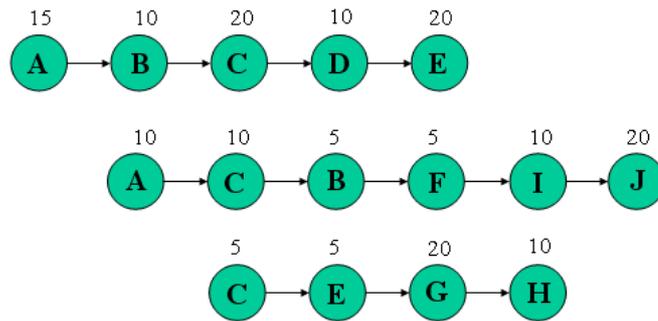


Figura 4.6: Redução dos tempos das atividades em 50%

De acordo com Cohen et al. (2004), o próximo passo da aplicação do Método da Corrente Crítica no ambiente de múltiplos projetos, é a resolução de conflitos entre o recurso gargalo por meio da defasagem dos projetos. De acordo com Leach (2004), é o recurso gargalo, também chamado de recurso tambor dos projetos, que vai determinar a data de início de cada projeto. Como pode ser observado na Figura 4.7, existe conflito na utilização do recurso “C”.

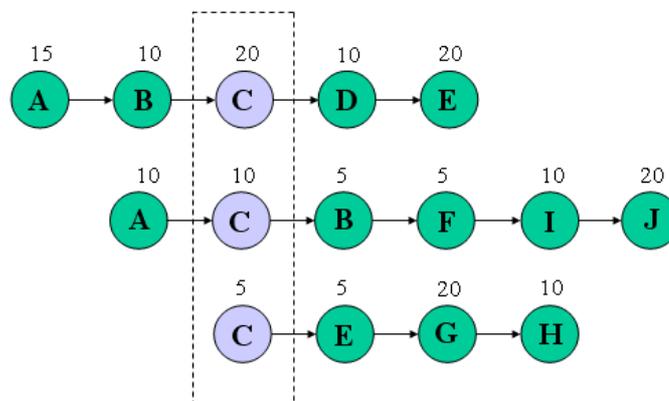


Figura 4.7: Conflito de recurso

Este conflito do recurso “C” poderá ser solucionado defasando sua utilização ao longo do tempo. A Figura 4.8 que segue, mostra a resolução deste conflito com a disposição do uso do recurso “C” em seqüência.

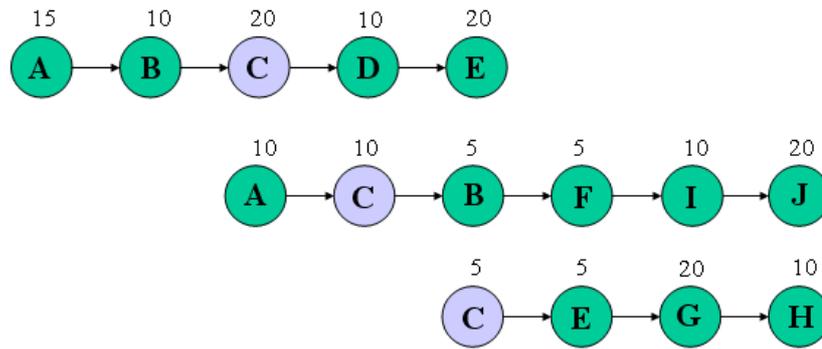


Figura 4.8: Resolução do conflito do recurso “C”

Com a resolução do conflito na utilização do recurso “C”, o próximo passo do método da Corrente Crítica é a identificação da Corrente Crítica entre todos os projetos, a qual é estabelecida pela seqüência das atividades dos projetos que tenham a maior duração, incluindo a dependência entre recursos. A Corrente Crítica do exemplo em referência pode ser vista na Figura 4.9, a seguir, representada pela linha tracejada.

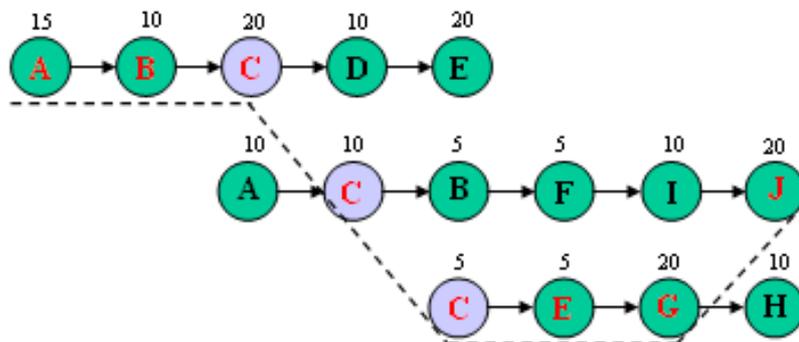


Figura 4.9: Identificação da Corrente Crítica no ambiente de múltiplos projetos

A criação dos pulmões de tempo é o próximo passo do método. A Figura 4.10 apresenta os pulmões de tempo necessários para a rede de projetos exemplificada, assim como suas localizações.

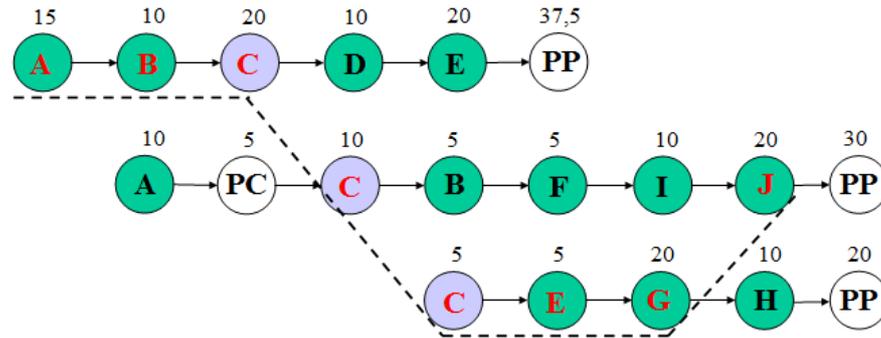


Figura 4.10: Localização dos pulmões de tempo no ambiente de múltiplos projetos

Foram necessários quatro pulmões de tempo para a rede de projetos mostrada na Figura 4.10. Como pode ser visto, são três Pulmões de Projeto representados por “PP” e um Pulmão de Convergência representado por “PC”. Cada um dos pulmões de tempo é composto por 50% do tempo subtraído das atividades que o precede.

Cohen et al. (2004) citam que após a identificação da Corrente Crítica no ambiente de múltiplos projetos, o Pulmão de Capacidade deverá ser colocado entre as atividades que utilizam o recurso tambor em diferentes projetos. Ainda segundo esses autores, não existe na literatura um padrão que estabelece o tamanho do Pulmão de Capacidade, contudo, eles sugerem que tenha 50% da duração prevista para a atividade do recurso tambor. A Figura 4.11 mostra a localização dos Pulmões de Capacidade e seus valores com base nos autores citados neste parágrafo.

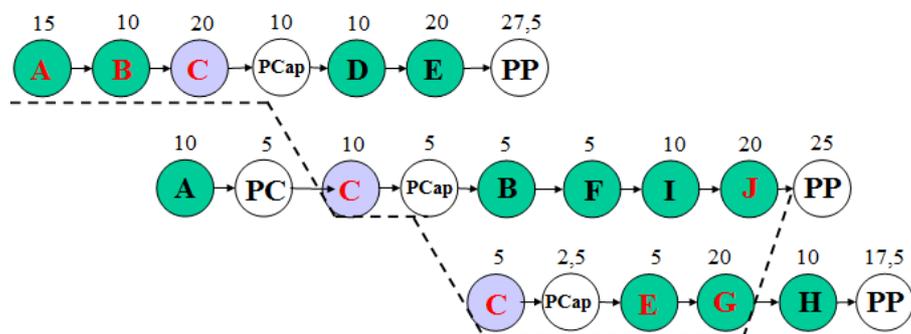


Figura 4.11: Localização dos Pulmões de Capacidade

Da forma que foi sugerido por Cohen et al. (2004), os Pulmões de Capacidade estão protegendo o recurso tambor de eventuais atrasos que possam ocorrer

na sua utilização por atividades de projetos distintos. Os valores destinados aos Pulmões de Capacidade foram de 50% da duração estimada para sua atividade. Os valores incluídos nos Pulmões de Capacidade foram subtraídos dos Pulmões de Projeto dos respectivos projetos onde estão localizados.

Como pode ser notado, quando se aumenta a quantidade de projetos a ser considerada em uma simulação, a aplicação do método da Corrente Crítica, se torna mais complexa, pois, as variáveis a serem consideradas tendem a aumentar.

#### 4.5. A simulação no ambiente de Múltiplos Projetos

Para a simulação do ambiente de múltiplos projetos, realizada neste trabalho, foi necessário efetuar um recorte na rede de projetos atual que compõe a carteira da empresa estudada.

O fluxograma representado na Figura 4.12, mostra uma seqüência de atividades que representa o processo completo de um projeto na empresa estudada, desde seu início na Engenharia do Produto até seu término representado por sua Expedição ou entrega. Este processo é realizado pela grande maioria dos projetos executados na empresa estudada.

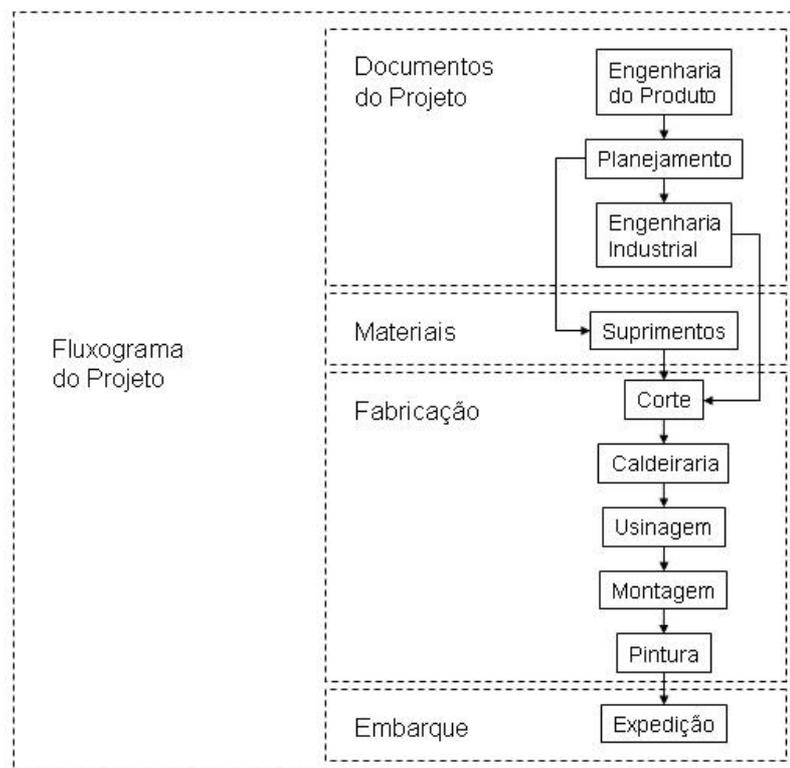


Figura 4.12: Fluxograma de Projeto

Fonte: Campanini (2008)

As atividades do fluxograma da Figura 4.12, estão agrupadas em quatro blocos denominados: Documentos do Projeto, Materiais, Fabricação e Embarque. A seguir estão as descrições para cada uma das atividades:

#### A. Documentos do Projeto

A1. Engenharia do Produto: o início do projeto acontece nesta fase. É aqui que são feitos os cálculos de estrutura dos equipamentos, os desenhos, as especificações técnicas, as correlações com as normas de materiais utilizados, a definição dos materiais aplicados, listas detalhadas de materiais para compras antecipadas e criação da estrutura do projeto ou árvore de produto.

A2. Planejamento Industrial: esta atividade é responsável por definir quais itens do projeto serão fabricados internamente ou comprados de terceiros. Também são feitas nesta atividade todas as solicitações de matérias-primas do projeto para a área de Suprimentos e a geração dos documentos de ordens de produção para fabricação interna dos equipamentos.

A3. Engenharia Industrial: nesta atividade são elaborados os roteiros de fabricação dos equipamentos e para as peças a serem cortadas, são criados desenhos detalhados. Ou seja, o conteúdo das ordens de produção geradas na atividade de Planejamento Industrial é estabelecido nesta atividade.

#### B. Materiais

B1. Suprimentos: as cotações solicitadas pelo Planejamento Industrial são feitas por esta atividade assim como a colocação dos pedidos de compra e os monitoramentos dos prazos e fabricações acordadas com os fornecedores.

#### C. Fabricação

C1. Corte: nesta atividade são cortados todos os materiais utilizados nos equipamentos do projeto. A maior parte das peças cortadas vem de chapas de aço cortadas em máquinas de controle numérico.

C2. Caldeiraria: a montagem e soldagem das principais estruturas dos equipamentos são feitas na atividade de caldeiraria. É nesta fase que os equipamentos tomam forma, ou seja, suas estruturas são construídas. Cada segmento de produto tem uma área de Caldeiraria dedicada.

C3. Usinagem: os equipamentos ou peças que precisam de medidas com maior precisão ou encaixes perfeitos passam por esta etapa do processo. As máquinas que realizam esta atividade são disputadas por vários projetos da empresa.

C4. Montagem: a atividade de montagem é responsável por agregar as peças periféricas nas estruturas principais dos equipamentos. São peças menores que geralmente são fixadas nas estruturas dos equipamentos por meio de porcas e parafusos ou elementos de fixação semelhantes.

C5. Pintura: nesta atividade o equipamento recebe as tintas de fundo e acabamento. Normalmente é a última atividade da fabricação.

#### D. Embarque

D1. Expedição: a colocação dos equipamentos e peças nos meios de transporte é realizada nesta atividade. Aqui são feitas todas as adequações necessárias para que os equipamentos possam ser transportados de maneira segura até seu destino.

Dentre as etapas do processo citado no fluxograma da Figura 4.12, a Usinagem, localizada dentro da etapa de Fabricação, é a mais indicada para realizar a simulação do Método da Corrente Crítica. A área de Usinagem é composta por várias máquinas e por elas passa a maioria dos equipamentos ou partes dos projetos fabricados na empresa estudada. Existem máquinas especiais com grandes capacidades que dificilmente são encontradas em empresas fornecedoras ou concorrentes. É uma área em que a maioria dos projetos precisa compartilhar os recursos disponíveis.

Para a realização da simulação foram escolhidos quatro projetos que utilizam a área de Usinagem da empresa estudada. Suas atividades, dentro da área de Usinagem, foram detalhadas e são apresentadas a seguir, na Figura 4.13.

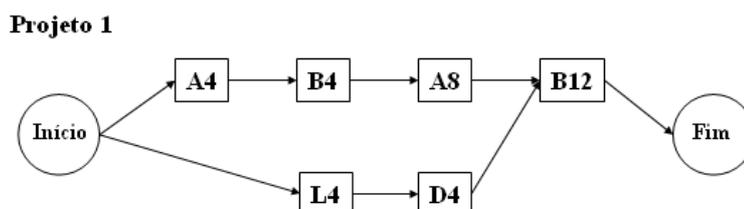


Figura 4.13: Rede de atividades do Projeto 1

A Figura 4.13 apresenta a seqüência de atividades, representadas pelas letras, e suas respectivas durações, representadas pelos números, para a execução do Projeto 1 dentro da área de Usinagem. Como pode ser observado, esse projeto possui quatro atividades seqüenciais e duas que podem ser feitas em paralelo. A primeira atividade do Projeto 1 tem duração estimada de 4 dias e deverá ser executada na Máquina “A”. A atividade seguinte também tem duração de 4 dias e deve ser feita na Máquina “B”. A terceira atividade volta a utilizar a Máquina “A” e tem duração estimada de 8 dias. Para a realização da quarta atividade “B12”, é necessário que as atividades que a antecedem tenham sido concluídas. Neste caso, além do término da atividade realizada na Máquina “B”, é preciso que as atividades realizadas nas Máquinas “L” e “D”, também tenham sido concluídas.

A seguir, nas Figuras 4.14, 4.15 e 4.16, as redes de atividades dos Projetos 2, 3 e 4 são respectivamente mostradas. Nelas podem ser observadas, além das relações de precedência, as durações das atividades e as respectivas máquinas necessárias para executar suas atividades.

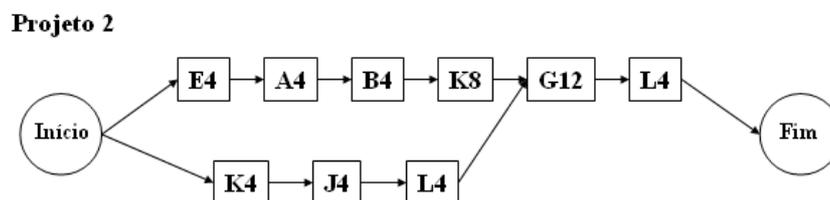


Figura 4.14: Rede de atividades do Projeto 2

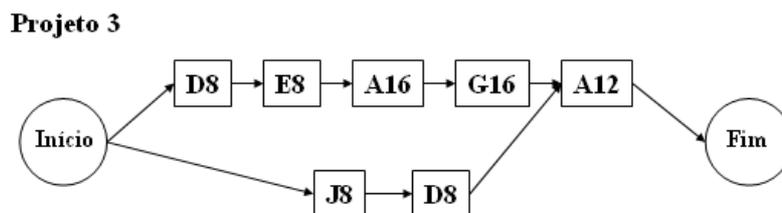


Figura 4.15: Rede de atividades do Projeto 3

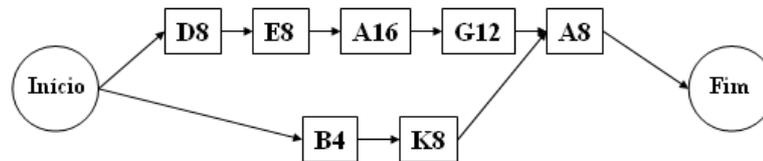
**Projeto 4**

Figura 4.16: Rede de atividades do Projeto 4

Esses quatro projetos foram simulados no mesmo ambiente compartilhando os mesmos recursos. Para isso, as durações das atividades foram reduzidas em 50%, os devidos pulmões de tempo foram criados e posicionados nos seus devidos lugares, o recurso gargalo ou tambor foi identificado e sua programação foi elaborada em função dos prazos dos projetos.

**4.6. Os tempos da simulação**

O software MS Project foi utilizado para a elaboração da rede com os quatro projetos selecionados para o estudo. A Figura 4.17 mostra a rede de atividades dos projetos, no ambiente de múltiplos projetos, considerando a disponibilidade de recursos e com os tempos reduzidos em 50%.

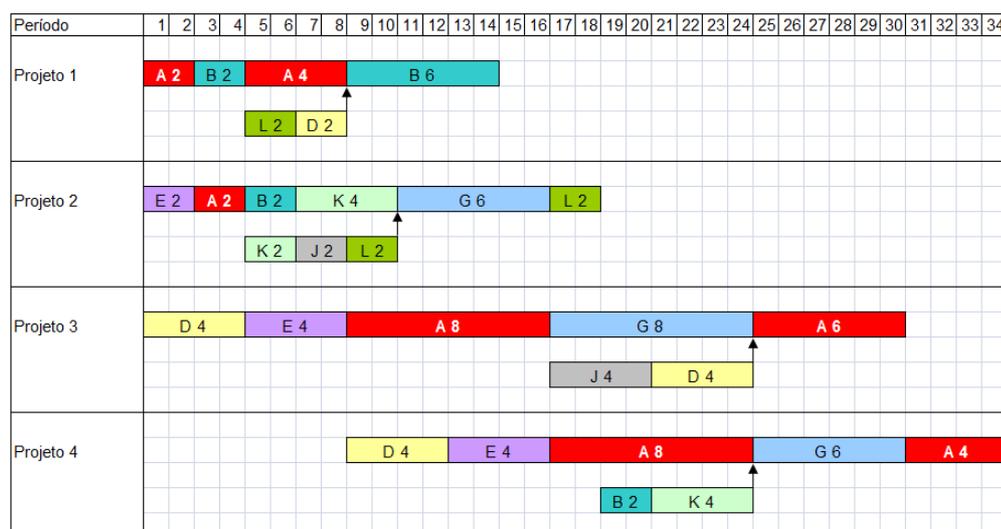


Figura 4.17: Rede de atividades dos Projetos 1, 2, 3 e 4

Na Figura 4.17 cada uma das barras representa as atividades com suas respectivas durações e o recurso necessário para cada uma delas. Em função das datas de entrega de cada um dos projetos, as atividades já estão programadas considerando a restrição de recurso. Na próxima Figura 4.18 está identificado por um círculo tracejado o recurso gargalo ou recurso tambor dos projetos. Como pode ser notado é o recurso mais utilizado ao longo da rede.

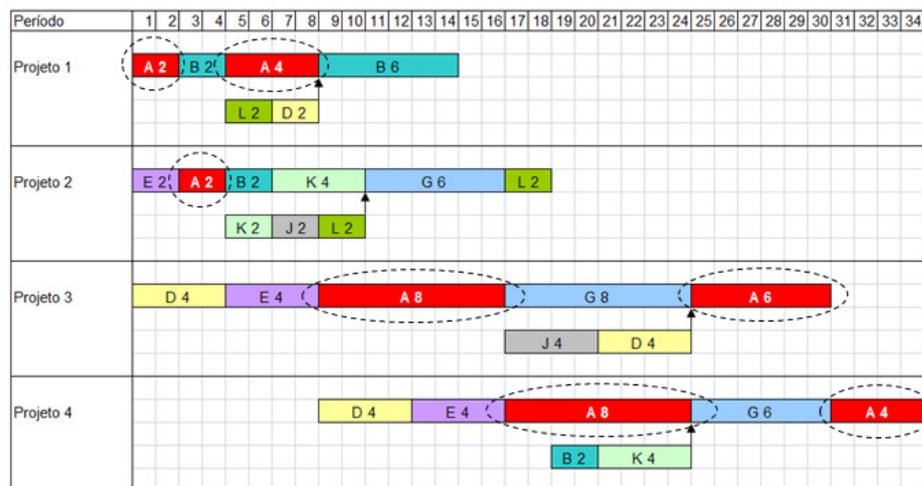


Figura 4.18: Recurso tambor identificado

Como também pode ser observado na Figura 4.18, o recurso tambor está programado de modo que fique seqüenciado e não haja sobreposição. Sua programação é feita de acordo com as datas de entrega dos projetos.

Após o seqüenciamento dos projetos, seus pulmões são dimensionados e incluídos nas atividades dos projetos. A Figura 4.19 apresenta o posicionamento e as durações dos pulmões de projeto, representados por meio da letra “P”, e dos pulmões de convergência representados por meio da letra “C”.

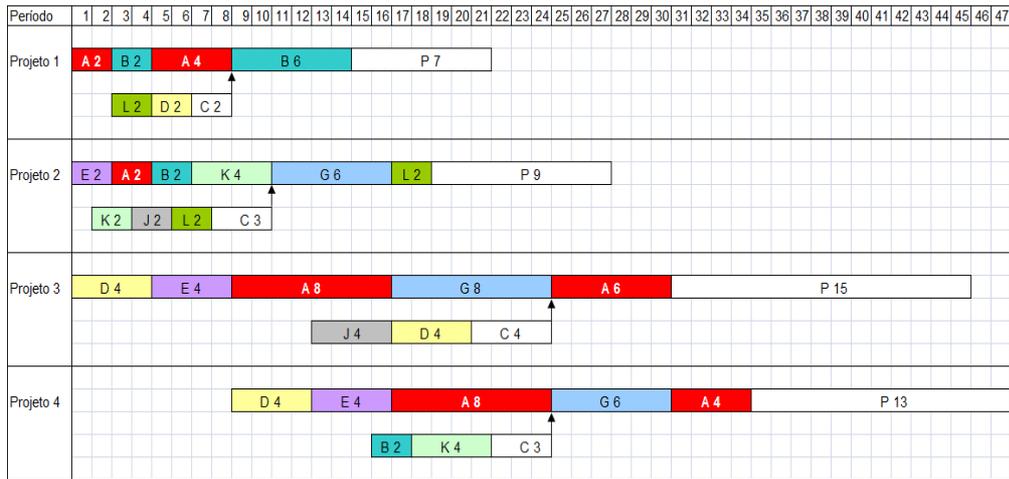


Figura 4.19: Pulmões de Projeto e Convergência

As durações das atividades da Figura 4.19 já estão reduzidas em 50%, portanto, para este exemplo, o tamanho dos pulmões, segundo o método Cortar e Colar de Goldratt, equivale a 50% da soma dos tempos que foram subtraídos das atividades.

Na Figura 4.20, foram incluídos os pulmões de capacidade. Como apresentado anteriormente no tópico 3.4.5 deste trabalho, estes pulmões situam-se entre as atividades que fazem uso do recurso tambor ou gargalo.

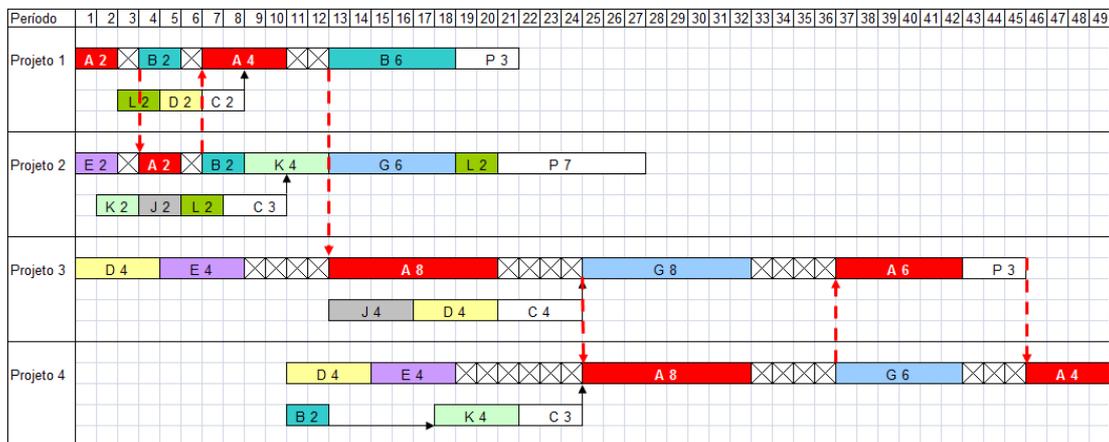


Figura 4.20: Pulmões de Capacidade

Como pode ser observado na Figura 4.20, os tempos dos pulmões de capacidade são subtraídos do pulmão que protege a Corrente Crítica do seu respectivo projeto. Para o projeto 1, exemplificado nesta figura, foram acrescidos quatro dias nos pulmões de capacidade distribuídos ao longo da seqüência de suas atividades e esses 4

dias foram subtraídos do seu pulmão de projeto, ou seja, o pulmão de projeto do projeto 1 que tinha inicialmente sete dias (Figura 4.19) passou a ter 3 dias.

Para simular os tempos de realização das atividades desses projetos, foram gerados tempos aleatórios seguindo uma distribuição de probabilidade Lognormal. Como mencionado no início deste capítulo, esta distribuição de probabilidade é a mais indicada para representar execução de atividades.

#### 4.7. O monitoramento dos pulmões de tempo

Para a rede de projetos apresentada no tópico anterior, são necessários Pulmões de Projeto, Pulmões de Convergência e Pulmões de Capacidade. Os Pulmões de Projeto servirão para proteger as datas de término dos projetos, os de Convergência protegerão a Corrente Crítica de eventuais atrasos existentes nos ramos de atividades não pertencentes a Corrente Crítica e os de Capacidade vão proteger a utilização do recurso tambor entre os projetos.

Os pulmões de tempo são monitorados por meio do gráfico de controle de pulmão. De acordo com Leach (2004), o gráfico mostrado na Figura 4.19, com seus respectivos percentuais de controle é considerado “típico” para o controle de pulmões de tempo.

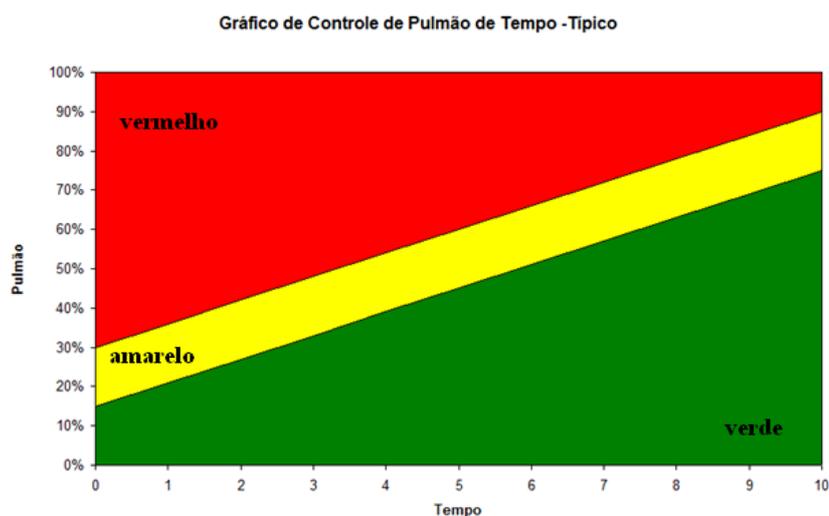


Figura 4.19: Gráfico de Controle - Típico

Este gráfico apresenta os 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 10; 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 10. Dessa forma a faixa amarela fica com uma largura de 15%.

## **5. O procedimento proposto**

Neste capítulo é apresentada a proposta para cálculo de pulmão de tempo. O procedimento proposto, sua aplicação e o plano da simulação são apresentados nas seções que seguem.

### **5.1. O procedimento da Raiz Quadrada do Erro com Lógica *Fuzzy***

Como citado anteriormente, a teoria da Corrente Crítica, juntamente com seu método Cortar e Colar para cálculo de pulmão de tempo, foram criados por Goldratt em 1997. No ano seguinte, o autor Newbold apresentou uma nova maneira de calcular o tamanho do pulmão de tempo, o qual considera a variância das atividades do projeto. Newbold (1998) nomeou este método de Método da Raiz Quadrada do Erro.

Os dois procedimentos que vieram em seguida, foram publicados por Tukul et al. (2006). Tanto o Procedimento Adaptativo com Densidade (APD) quanto o Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT) utilizam como base a soma da variância das atividades de um projeto, que é a mesma consideração de Newbold (1998). Para ambos os procedimentos, essa soma é multiplicada por um fator que varia de acordo com algumas particularidades do projeto.

Xie et al. (2010) não fazem diferente em seu Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro. Quando se lê o próprio nome do método, é possível associar a base de cálculo deste Método ao Método de Newbold (1998). Esses autores, combinam dois fatores, um relacionado à complexidade do projeto e o outro à restrição de recursos e os relacionam com a variância das atividades para calcular o tamanho do pulmão de tempo.

O procedimento para o dimensionamento de pulmões de tempo proposto neste trabalho considera a Método da Raiz Quadrada do Erro, proposto por Newbold (1998), ajustado por um fator que foi nomeado neste trabalho de FAP (Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo). O diferencial do método proposto está no Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) que, além de ser calculado por meio da aplicação da Lógica *Fuzzy*, considerou cinco variáveis que influenciam diretamente nos prazos de execução dos projetos da empresa estudada.

A primeira variável considerada de um projeto foi a multa estabelecida no contrato. Diversos projetos possuem multas consideráveis que pelos seus valores

influenciam diretamente sua priorização e importância no momento de sua execução, monitoramento e controle e conseqüentemente no tamanho dos pulmões de tempo.

A segunda variável considerada foi a margem de lucro estabelecida para o projeto. Quando um projeto é orçado, seu preço e seus custos são definidos. Contudo, até o momento de sua venda efetiva, após toda a negociação, podem ocorrer reduções em sua margem de lucro. Após sua venda efetiva e ao longo de sua execução, periodicamente sua margem é averiguada com base nos custos incorridos até o presente momento. Todas essas variações influenciam diretamente a importância do projeto e conseqüentemente no dimensionamento dos seus pulmões de tempo.

A terceira variável considerada foi o cliente. Dependendo de sua importância para a empresa, também pode ter influência direta na priorização do projeto. Para um cliente de longos anos e que contribui consideravelmente para o faturamento da empresa, é interessante que a execução de seus projetos tenha preferência perante outros clientes com baixo potencial, pois, em um determinado momento de tomada de decisão, a preferência pode ser usada para critério de desempate. Também é uma variável que tem influência direta no tamanho dos pulmões de tempo.

A quarta variável considerada foi a complexidade do projeto. Quanto maior sua complexidade, maiores serão suas incertezas e por conseqüência o tamanho de seus pulmões de tempo. Esta variável é utilizada no cálculo de pulmão de tempo proposto pelos autores Tukul et al. (2006) e Xie et al. (2010).

A quinta e última variável considerada no procedimento proposto foi a escassez de recursos. Variável também considerada no cálculo de pulmões de tempo proposto pelos autores Tukul et al. (2006) e Xie et al. (2010), está diretamente relacionada à disponibilidade de recursos e pode ter influência direta no tamanho dos pulmões de tempo.

Para a transformação dessas variáveis em valores que possibilitaram o cálculo do tamanho do pulmão de tempo, foi utilizada a Lógica *Fuzzy*, teoria apresentada no item 3.5 desta tese.

A Figura 5.1, apresenta um fluxograma com as etapas que possibilitam calcular o Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) para um determinado projeto utilizando a Lógica *Fuzzy*.

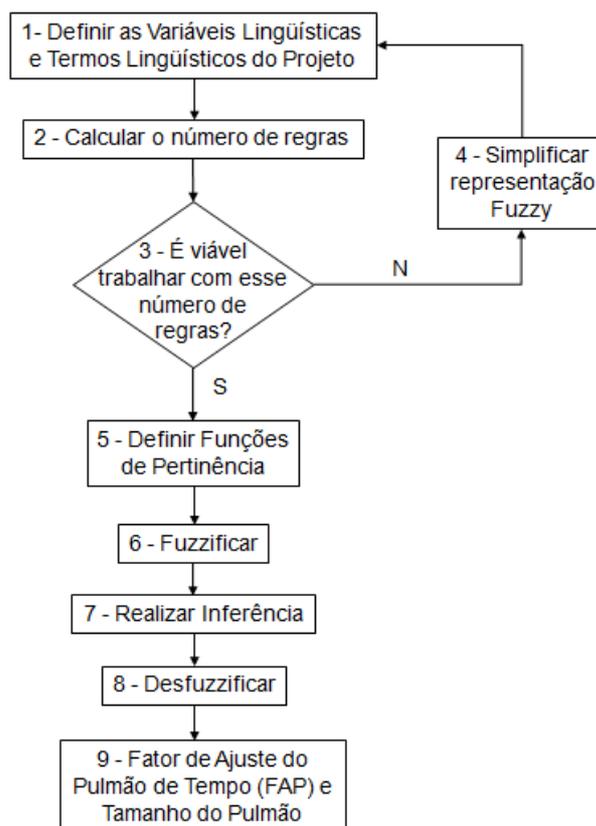


Figura 5.2: Fluxograma para cálculo do FAP e do Pulmão de tempo

A primeira etapa se refere à definição das variáveis linguísticas consideradas para cálculo do Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP), que no caso estudado foram cinco.

A aplicação da Lógica *Fuzzy* sobre as cinco variáveis linguísticas (multa contratual, margem de lucro, importância do cliente, complexidade do projeto e escassez de recursos) implicaria em um conjunto de 243 regras (três termos linguísticos, “baixo”, “médio” e “alto” para cada variável linguística, ou seja,  $3^5$ ) o que dificultaria a verificação e análise por especialistas da empresa no caso estudado (etapa 2).

Sendo assim, a resposta para pergunta da etapa 3 é que, para o caso estudado, o número de regras não é viável e a representação *Fuzzy* precisa ser simplificada. Essa necessidade de simplificação é necessária pelo fato de serem cinco variáveis linguísticas e por estarem relacionadas com áreas distintas, ou seja, multa contratual e margem de lucro estão voltadas para a área de finanças, importância do cliente está diretamente ligada à área comercial e complexidade do projeto e escassez de recursos estão relacionadas com a produção.

Para simplificar a representação *Fuzzy* (etapa 4), com a redução do número de regras, foi utilizado o modelo proposto por Amindoust et al. (2012), no qual os autores dividem a aplicação da Lógica *Fuzzy* em grupos de variáveis lingüísticas. Estes autores chamam esta aplicação de grupos de estágios. Sendo assim, a cada estágio que se aplica a Lógica *Fuzzy*, ocorre a redução do número de variáveis lingüísticas a serem avaliadas. A Figura 5.2, adaptada de Amindoust et al. (2012), mostra o modelo.

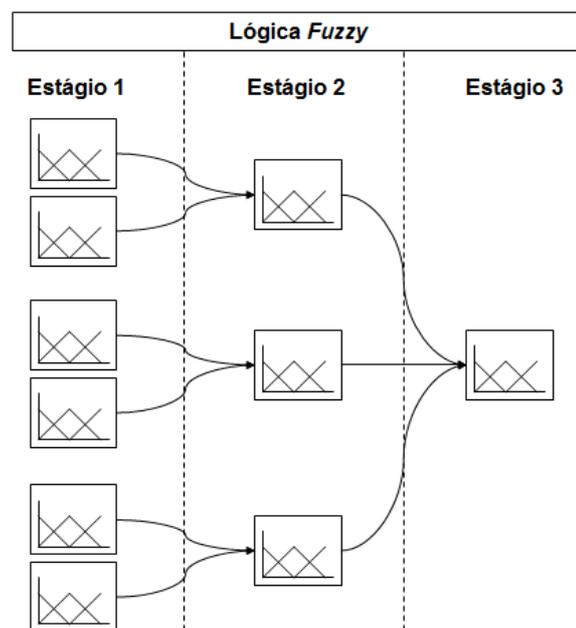


Figura 5.2: Aplicação da Lógica *Fuzzy* em estágios

Fonte: Adaptado de Amindoust et al. (2012)

A Figura 5.2 mostra a aplicação da Lógica *Fuzzy* em alguns estágios. Em cada estágio, existem algumas variáveis lingüísticas que estão representadas por um pequeno gráfico (função de pertinência). Como pode ser observado, na medida em que se avança nos estágios o número de variáveis lingüísticas diminui. No estágio 1 existem seis variáveis lingüísticas e a Lógica *Fuzzy* é aplicada 3 vezes, ou seja, combina as variáveis lingüísticas de duas em duas.

No estágio 2, as seis variáveis lingüísticas do estágio 1 foram convertidas em três. Neste estágio, a aplicação da Lógica *Fuzzy* aconteceu sobre a combinação das três variáveis lingüísticas resultando em uma única variável lingüística para ser trabalhada no estágio 3.

Para o estudo de caso deste trabalho, as cinco variáveis lingüísticas que foram utilizadas na proposta de cálculo de pulmão de tempo deste trabalho tiveram a aplicação da Lógica *Fuzzy* dividida em 2 estágios. No estágio 1, a Lógica *Fuzzy* foi aplicada duas vezes, uma vez sobre as variáveis lingüísticas multa contratual e margem de lucro, tendo como resultado a variável lingüística nomeada de fator financeiro e, a na segunda vez, a Lógica *Fuzzy* foi aplicada sobre as variáveis lingüísticas complexidade do projeto e escassez de recursos resultando na variável lingüística chamada de fator de produção.

No estágio 2 a aplicação da Lógica *Fuzzy* ocorreu sobre três variáveis lingüísticas. A primeira foi a importância do cliente e as outras duas foram as variáveis lingüísticas resultantes do estágio 1 (fator financeiro e fator de produção). A Figura 5.3 apresenta a aplicação da Lógica *Fuzzy* sobre as variáveis lingüísticas utilizadas na proposta de cálculo de pulmão de tempo, nos seus respectivos estágios.

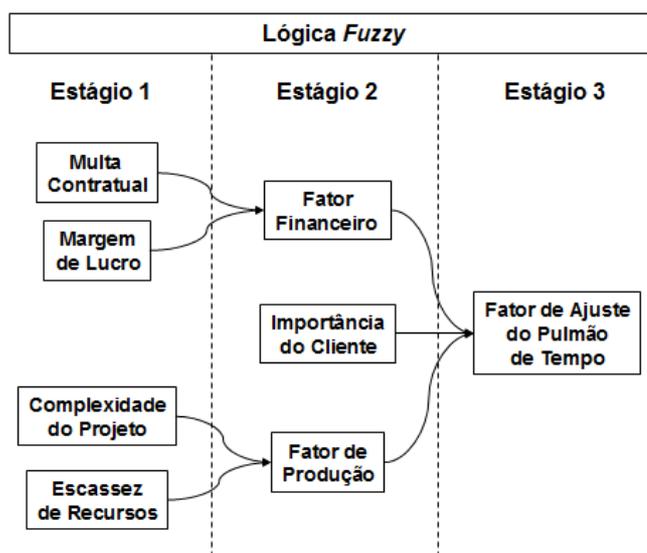


Figura 5.3: Proposta para aplicação da Lógica *Fuzzy* em estágios

Para continuar com esta proposta de cálculo de pulmão de tempo utilizando a Lógica *Fuzzy*, na etapa 5, foram utilizadas funções de pertinência triangulares com a mesma inclinação, de modo que nenhum dos termos lingüísticos seja priorizado em relação aos outros, ou seja, todos são tratados com a mesma importância.

### Fuzzificação (etapa 6)

Nesta primeira operação da aplicação da Lógica *Fuzzy*, para a proposta deste trabalho, ocorre a transformação dos dados de entrada ou valores numéricos de uma variável lingüística em termos lingüísticos. De início são cinco variáveis lingüísticas: “multa contratual”, “margem de lucro”, “importância do cliente”, “complexidade do projeto” e “escassez de recursos”.

A figura 5.4 apresenta as funções de pertinência para a variável lingüística “multa contratual” e seus respectivos termos lingüísticos.

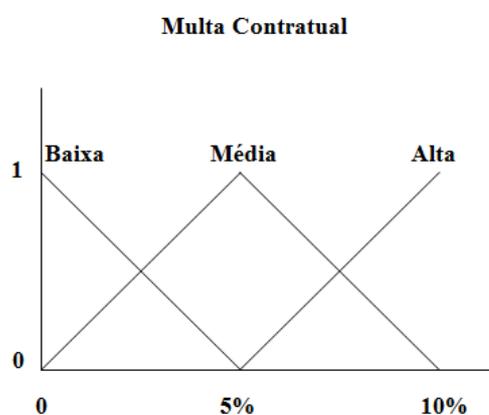


Figura 5.4: Funções de pertinência da multa contratual

Como pode ser notado na Figura 5.4, os termos lingüísticos considerados para a variável lingüística “multa contratual” são três: “baixa”, “média” e “alta”. As multas contratuais dos projetos do estudo de caso podem variar de zero a 10% do valor do seu contrato.

A variável lingüística “margem de lucro” com suas respectivas funções de pertinência para seus termos lingüísticos, estão representados na Figura 5.5.

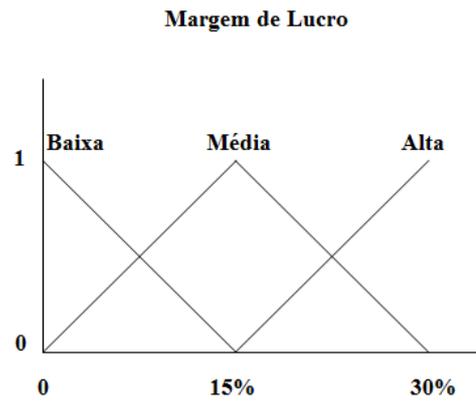


Figura 5.5: Funções de pertinência da margem de lucro

Na Figura 5.5, os três termos lingüísticos utilizados para a margem de lucro foram “baixa”, “média” e “alta”. De acordo com o estudo de caso, os projetos da empresa estudada podem ter uma margem de lucro de até 30%.

Para variável lingüística importância do cliente, os termos lingüísticos adotados foram “baixa”, “média” e “alta”. A Figura 5.6, a seguir, apresenta esta variável e seus termos lingüísticos com suas respectivas funções de pertinência.

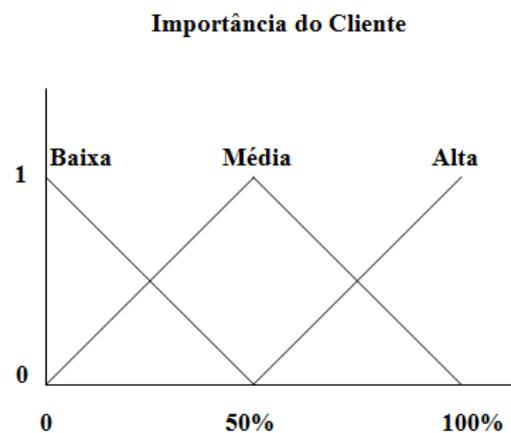


Figura 5.6: Funções de pertinência da importância do cliente

A importância do cliente pode variar de zero a 100% e ela é definida com a ajuda de especialistas da área comercial que ao mesurar sua importância levam em consideração valores dos pedidos realizados, quantidade de pedidos, fluxo de caixa (referente ao recebimento de eventos contratuais), alterações contratuais e tempo de resposta relacionada às revisões de projetos.

Na Figura 5.7 que segue, é apresentada a variável lingüística complexidade do projeto e suas respectivas funções de pertinência associadas aos termos lingüísticos que são “baixa”, “média” e “alta”.

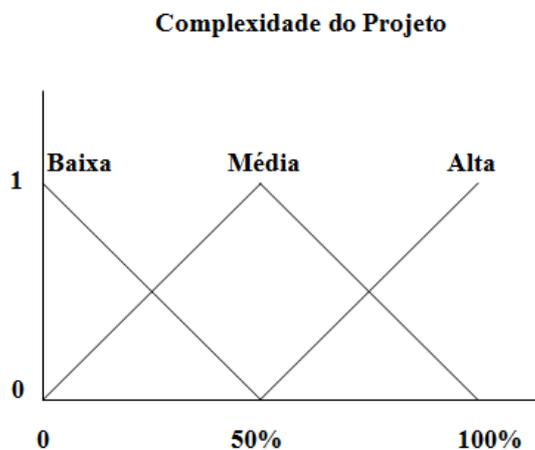


Figura 5.7: Funções de pertinência da complexidade do projeto

A complexidade do projeto também pode variar de zero a 100% e ela é estabelecida com a ajuda de especialistas da área de engenharia industrial que, ao mesurar sua importância, levam em consideração particularidades do processo tais como: se o processo a ser executado é conhecido ou se é a primeira vez que vai ser realizado, se é necessário a fabricação de dispositivos ou ferramentais para auxiliar e permitir a execução do processo fabril, se existe área disponível no chão de fábrica, se as instalações comportam tal processo e a sua logística interna.

A quinta variável lingüística considerada neste estudo, a escassez de recursos, é apresentada na Figura 5.8 juntamente com os termos lingüísticos correlacionados “baixa”, “média” e “alta,” assim como suas respectivas funções de pertinência.

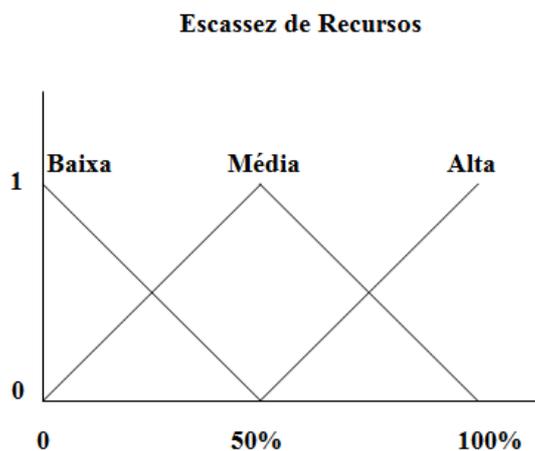


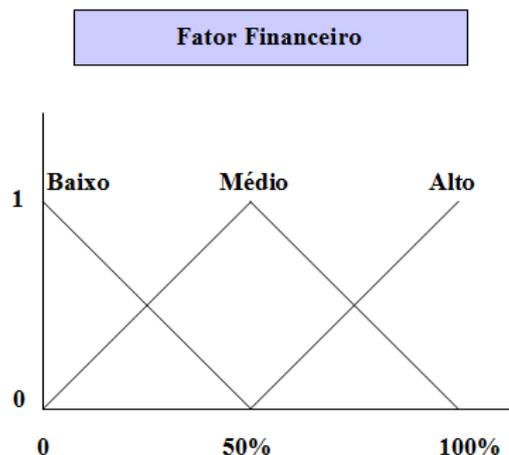
Figura 5.8: Funções de pertinência da escassez de recurso

A escassez de recursos do projeto também pode variar de zero a 100% e ela é definida com a ajuda de especialistas da área de planejamento e controle da produção que ao mesurar a escassez levam em consideração a capacidade das áreas envolvidas em todo processo produtivo, máquinas e mão-de-obra disponíveis, prazos de entrega e cronogramas do projeto em questão e dos outros que estão em carteira.

#### Inferência (etapa 7)

Nesta segunda operação foram estabelecidas as regras do tipo “SE→ENTÃO”, as quais direcionam os resultados obtidos para um novo conjunto. Para a proposta deste trabalho foram elaborados três conjuntos “resultado”.

O primeiro conjunto “resultado” elaborado contém a variável lingüística que foi chamada de “fator financeiro”. Este conjunto é resultado das variáveis lingüísticas “multa contratual” e “margem de lucro”. A Figura 5.9 mostra a variável lingüística “fator financeiro”, seus termos lingüísticos “baixo”, “médio” e “alto” com suas respectivas funções de pertinência.



A Figura 5.9: Funções de pertinência do fator financeiro

Os valores considerados para a variável lingüística apresentada na Figura 5.9 (conjunto “resultado”) são resultantes da aplicação da Lógica *Fuzzy* (estágio 1) sobre as variáveis lingüísticas, multa contratual e margem de lucro, como mostrado na Figura 5.1 que exibe a proposta de aplicação da Lógica *Fuzzy* em estágios.

Nesse novo conjunto “resultado” apresentado na Figura 5.9, são abordadas as possíveis situações quando se confronta a multa contratual com a margem de lucro de um projeto. Como pode ser visto, dependendo dos valores analisados das variáveis lingüísticas, o projeto pode ter um fator financeiro baixo, médio ou alto.

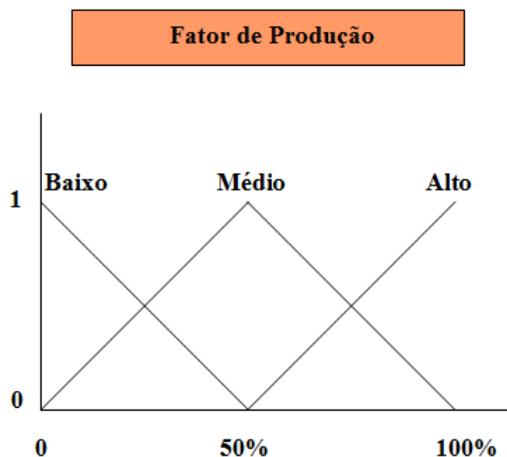
As regras que combinam as variáveis lingüísticas, multa contratual e margem de lucro e resultam na variável fator financeiro, estão dispostas na Figura 5.10.

Regras		Multa Contratual		Margem de Lucro		Fator Financeiro
1	SE	Baixa	E	Baixa	ENTÃO	Baixo
2	SE	Baixa	E	Média	ENTÃO	Baixo
3	SE	Baixa	E	Alta	ENTÃO	Médio
4	SE	Média	E	Baixa	ENTÃO	Baixo
5	SE	Média	E	Média	ENTÃO	Médio
6	SE	Média	E	Alta	ENTÃO	Alto
7	SE	Alta	E	Baixa	ENTÃO	Médio
8	SE	Alta	E	Média	ENTÃO	Alto
9	SE	Alta	E	Alta	ENTÃO	Alto

Figura 5.10: Regras – fator financeiro

O segundo conjunto “resultado” elaborado é composto pela variável lingüística chamada “fator de produção”. Este conjunto é resultado das variáveis

lingüísticas “complexidade do projeto” e “escassez de recursos”. A Figura 5.11 mostra a variável lingüística “fator de produção”, seus termos lingüísticos, “baixo”, “médio” e “alto” com suas respectivas funções de pertinência.



A Figura 5.11: Funções de pertinência do fator de produção

Os valores considerados para a variável lingüística apresentada na Figura 5.11 (conjunto “resultado”) são resultantes da aplicação da Lógica *Fuzzy* (estágio 1) sobre as variáveis lingüísticas, complexidade do projeto e escassez de recursos, como também foi mostrado na Figura 5.3 deste capítulo.

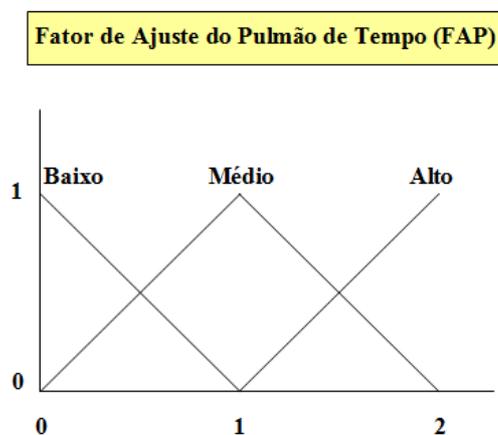
Nesse novo conjunto “resultado” apresentado na Figura 5.11 são consideradas as possíveis situações quando se confronta a complexidade do projeto com a escassez de recursos de um projeto. Como pode ser observado, dependendo dos valores analisados das variáveis lingüísticas, o projeto pode ter um fator de produção baixo, médio ou alto.

As regras que combinam as variáveis lingüísticas, complexidade do projeto e escassez de recursos e resultam na variável fator de produção, são mostradas na Figura 5.12, a seguir.

Regras		Complexidade do Projeto		Escassez de Recurso		Fator de Produção
1	SE	Baixa	E	Baixa	ENTÃO	Baixo
2	SE	Baixa	E	Média	ENTÃO	Baixo
3	SE	Baixa	E	Alta	ENTÃO	Médio
4	SE	Média	E	Baixa	ENTÃO	Baixo
5	SE	Média	E	Média	ENTÃO	Médio
6	SE	Média	E	Alta	ENTÃO	Alto
7	SE	Alta	E	Baixa	ENTÃO	Médio
8	SE	Alta	E	Média	ENTÃO	Alto
9	SE	Alta	E	Alta	ENTÃO	Alto

Figura 5.12: Regras – fator de produção

O terceiro conjunto “resultado” elaborado é composto pela variável lingüística chamada “fator de ajuste do pulmão de tempo” (FAP). Este conjunto é resultado da aplicação da Lógica *Fuzzy* sobre as variáveis lingüísticas “fator financeiro”, “importância do cliente” e “fator de produção”. A Figura 5.13 mostra a variável lingüística “fator de ajuste do pulmão de tempo”, seus termos lingüísticos, “baixo”, “médio” e “alto” com suas respectivas funções de pertinência.



A Figura 5.13: Funções de pertinência do fator de ajuste do pulmão de tempo

Os valores considerados para a variável lingüística apresentada na Figura 5.13 (conjunto “resultado”) são resultantes da aplicação da Lógica *Fuzzy* (estágio 2) sobre as variáveis lingüísticas, fator financeiro, importância do cliente e fator de produção, como também foi mostrado na Figura 5.3 deste capítulo.

Nesse novo conjunto “resultado” apresentado na Figura 5.13, são abordadas as possíveis situações quando se confronta as variáveis fator financeiro, importância do cliente e fator de produção de um projeto. Como pode ser notado,

dependendo dos valores analisados das variáveis lingüísticas, o projeto pode ter um fator de ajuste de pulmão de tempo baixo, médio ou alto.

Os valores do Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) podem variar entre 0 e 2. O FAP representa também a importância do projeto, ou seja, quanto maior for o valor deste fator ( $0 < \text{FAP} < 2$ ), maior importância terá o projeto para a empresa. Este fator, como foi mostrado anteriormente, multiplica o valor resultante da aplicação do Método da Raiz Quadrada do Erro de Newbold, ou seja, ele ajusta o tamanho do pulmão de tempo de acordo com as características relevantes do projeto, consideradas neste trabalho.

As regras que combinam essas três variáveis lingüísticas, fator financeiro, importância do cliente e fator de produção e resultam na variável fator de produção, são mostradas na Figura 5.14 na seqüência do texto.

Regras		Fator Financeiro	E	Importância do Cliente	E	Fator de Produção		Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo
1	SE	Baixo	E	Baixa	E	Baixo	ENTÃO	Baixo
2	SE	Baixo	E	Baixa	E	Médio	ENTÃO	Baixo
3	SE	Baixo	E	Baixa	E	Alto	ENTÃO	Médio
4	SE	Baixo	E	Média	E	Baixo	ENTÃO	Baixo
5	SE	Baixo	E	Média	E	Médio	ENTÃO	Médio
6	SE	Baixo	E	Média	E	Alto	ENTÃO	Médio
7	SE	Baixo	E	Alta	E	Baixo	ENTÃO	Médio
8	SE	Baixo	E	Alta	E	Médio	ENTÃO	Médio
9	SE	Baixo	E	Alta	E	Alto	ENTÃO	Alto
10	SE	Médio	E	Baixa	E	Baixo	ENTÃO	Baixo
11	SE	Médio	E	Baixa	E	Médio	ENTÃO	Baixo
12	SE	Médio	E	Baixa	E	Alto	ENTÃO	Médio
13	SE	Médio	E	Média	E	Baixo	ENTÃO	Médio
14	SE	Médio	E	Média	E	Médio	ENTÃO	Médio
15	SE	Médio	E	Média	E	Alto	ENTÃO	Médio
16	SE	Médio	E	Alta	E	Baixo	ENTÃO	Médio
17	SE	Médio	E	Alta	E	Médio	ENTÃO	Alto
18	SE	Médio	E	Alta	E	Alto	ENTÃO	Alto
19	SE	Alto	E	Baixa	E	Baixo	ENTÃO	Médio
20	SE	Alto	E	Baixa	E	Médio	ENTÃO	Médio
21	SE	Alto	E	Baixa	E	Alto	ENTÃO	Alto
22	SE	Alto	E	Média	E	Baixo	ENTÃO	Médio
23	SE	Alto	E	Média	E	Médio	ENTÃO	Médio
24	SE	Alto	E	Média	E	Alto	ENTÃO	Alto
25	SE	Alto	E	Alta	E	Baixo	ENTÃO	Alto
26	SE	Alto	E	Alta	E	Médio	ENTÃO	Alto
27	SE	Alto	E	Alta	E	Alto	ENTÃO	Alto

Figura 5.14: Regras – fator de ajuste do pulmão de tempo

O Método de Mamdani foi utilizado como método de inferência. Conforme apresentado anteriormente, este método, além de normalmente ser o método de inferência mais usado, também apresenta algumas vantagens.

#### Desfuzzificação (etapa 8)

Nesta operação o conjunto *fuzzy* é convertido em um valor numérico. Para os conjuntos resultantes da operação de inferência foi utilizado o Método do Centro de Gravidade, por ser o método mais indicado conforme apresentado no tópico 3.5.5 do capítulo 3.

Uma vez estabelecido o valor do Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP), valor numérico resultante da Desfuzzificação, é necessário multiplicá-lo pelo valor do Pulmão de Tempo calculado por meio da equação estabelecida por Newbold (1998).

Dessa forma, o tamanho do Pulmão de Tempo proposto neste trabalho pode ser calculado, na etapa 9, por meio da fórmula que segue.

$$\text{Pulmão de Tempo} = \text{FAP} * \text{Raiz Quadrada} (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

Onde, U representa a incerteza da atividade e, de acordo com Newbold (1998), é calculada da seguinte maneira:  $U_i = S_i - d_i$ , e i representa cada uma das atividades que compõem a rede, podendo variar de 1 a n. Conforme apresentado no tópico 3.3.4.2 do capítulo 3 deste trabalho, este método utiliza duas estimativas, sendo que a primeira é a estimativa com tempo de segurança embutido (S) e a segunda é a estimativa média (d), ou seja, 50% do tempo estimado.

Em função da utilização do Método apresentado por Newbold (1998) e a aplicação da Lógica *Fuzzy*, a proposta para cálculo de pulmão de tempo deste trabalho foi nomeada de Método da Raiz Quadrada do Erro com Lógica *Fuzzy*.

## 5.2. A aplicação do procedimento proposto

O procedimento proposto no item anterior foi aplicado em cinco cenários distintos. A seguir, está a descrição dos cenários e suas aplicações.

Sua aplicação, nos respectivos cenários, seguiu as etapas 6, 7, 8 e 9 do fluxograma apresentado anteriormente na Figura 5.2, uma vez que os conteúdos das etapas antecedentes já estão definidas na seção 5.1 deste capítulo (variáveis lingüísticas, termos lingüísticos, regras e funções de pertinência).

### 5.2.1. Cenários considerados para aplicação do procedimento proposto

Foram considerados cinco cenários distintos para aplicar o procedimento proposto neste trabalho. No cenário 1, foram considerados valores baixos para cada uma das suas variáveis lingüísticas. Já para o cenário 2, os valores considerados para suas variáveis lingüísticas foram medianos. No cenário 3, foram considerados valores altos para cada uma das variáveis lingüísticas. Tais valores estão discriminados a seguir.

Cenário 1 (Valores para os Projetos 1, 2, 3 e 4)

Multa Contratual = 1%

Margem de Lucro = 3%

Importância do Cliente = 10%

Complexidade do Projeto = 10%

Escassez de Recursos = 10%

Cenário 2 (Valores para os Projetos 1, 2, 3 e 4)

Multa Contratual = 5%

Margem de Lucro = 15%

Importância do Cliente = 50%

Complexidade do Projeto = 50%

Escassez de Recursos = 50%

Cenário 3 (Valores para os Projetos 1, 2, 3 e 4)

Multa Contratual = 9%

Margem de Lucro = 27%

Importância do Cliente = 90%

Complexidade do Projeto = 90%

Escassez de Recursos = 90%

Como pode ser observado, os valores estabelecidos para as variáveis lingüísticas de cada projeto permite direcionar, de modo geral, cada um dos cenários para um determinado termo lingüístico (“baixo”, “médio” e “alto”). Os percentuais das variáveis lingüísticas do Cenário 1 direcionam-no, de modo geral, para os termos lingüísticos considerados “baixo”. O Cenário 2, com seus respectivos percentuais, é direcionado para os termos lingüísticos de nível “médio” e por fim o Cenário 3 com esses percentuais para suas variáveis lingüísticas, tende para os termos lingüísticos considerados de nível “alto”.

Esse proposital direcionamento de cada um dos três cenários para um determinado termo lingüístico “baixo”, “médio” e “alto” permite abranger com a proposta deste trabalho as extremidades da classificação de um projeto (no exemplo seria representado pelos termos lingüísticos, “baixo” e o “alto”) e um valor mediano (representado pelo termo lingüístico “médio”). Dessa forma, as demais variações que podem ocorrer dentro de cada um dos projetos, acabariam deslocando-o dentro das extremidades testadas.

No cenário 4, foram considerados valores de projetos que fazem parte da carteira da empresa estudada. Os valores utilizados para cada um dos quatro projetos neste cenário estão descritos abaixo.

Cenário 4 (Valores para o Projeto 1)

Multa Contratual = 10%

Margem de Lucro = 21%

Importância do Cliente = 70%

Complexidade do Projeto = 80%

Escassez de Recursos = 70%

Cenário 4 (Valores para o Projeto 2)

Multa Contratual = 5%

Margem de Lucro = 24%

Importância do Cliente = 80%

Complexidade do Projeto = 50%

Escassez de Recursos = 80%

Cenário 4 (Valores para o Projeto 3)

Multa Contratual = 8%

Margem de Lucro = 15%

Importância do Cliente = 50%

Complexidade do Projeto = 80%

Escassez de Recursos = 60%

Cenário 4 (Valores para o Projeto 4)

Multa Contratual = 2%

Margem de Lucro = 3%

Importância do Cliente = 10%

Complexidade do Projeto = 30%

Escassez de Recursos = 10%

Por fim, para o cenário 5, foram consideradas apenas duas variáveis lingüísticas dentre as cinco consideradas no cenário 4. As variáveis escolhidas para o cenário 5 foram Complexidade do Projeto e Escassez de Recursos, ou seja, variáveis relacionadas ao Fator de Produção. A escolha destas variáveis lingüísticas para compor o cenário 5 foi feita para poder comparar o comportamento do método proposto com os métodos de Tukul et al. (2006) e Xie et al. (2010), que consideram as mesmas variáveis. Sendo assim, os valores para cada uma das variáveis estão relacionados a seguir:

Cenário 5 (Valores para o Projeto 1)

Complexidade do Projeto = 80%

Escassez de Recursos = 70%

Cenário 5 (Valores para o Projeto 2)

Complexidade do Projeto = 50%

Escassez de Recursos = 80%

Cenário 5 (Valores para o Projeto 3)

Complexidade do Projeto = 80%

Escassez de Recursos = 60%

Cenário 5 (Valores para o Projeto 4)

Complexidade do Projeto = 30%

Escassez de Recursos = 10%

Os valores atribuídos a essas duas variáveis lingüísticas são os mesmos utilizados para elas no cenário 4, pois, se tratam dos mesmos projetos.

### 5.2.2. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 1

A aplicação da Lógica *Fuzzy* foi realizada de acordo com os estágios mostrados na Figura 5.3 deste capítulo. Sendo assim, no estágio 1, uma aplicação foi feita sobre as variáveis lingüísticas multa contratual e margem de lucro e a outra sobre as variáveis lingüísticas complexidade do projeto e escassez de recursos. A terceira aplicação ocorreu no estágio 2 sobre as variáveis lingüísticas fator financeiro, importância do cliente e fator de produção.

Etapa 6: Fuzzificação (estágio 1)

A primeira aplicação, para os valores de 1% de multa contratual e 3% de margem de lucro, está demonstrada nas Figuras 5.15 e 5.16.

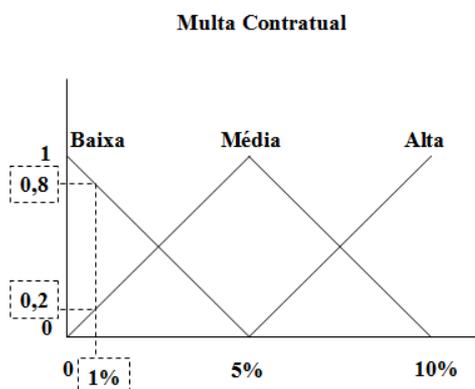


Figura 5.15: Multa Contratual do Cenário 1 e grau de pertinência

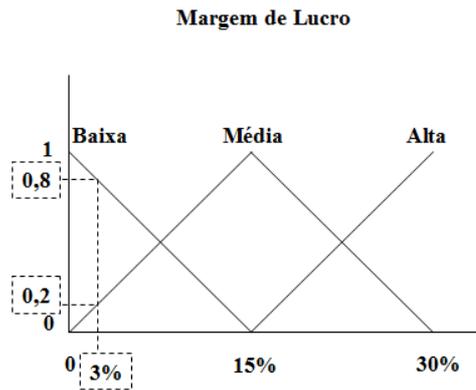


Figura 5.16: Margem de lucro do Cenário 1 e grau de pertinência

Como pode ser visto nas Figuras 5.15 e 5.16, a multa contratual de 1%, para o cenário 1, é considerada “baixa” com 0,8 grau de pertinência e “média” com 0,2 grau de pertinência. E a margem de lucro com valor de 3%, é considerada “baixa” com grau de pertinência de 0,8 e “média” com grau de pertinência de 0,2.

A segunda aplicação é apresentada nas Figuras 5.17 e 5.18 para os valores de 10% de complexidade do projeto e 10% de escassez de recursos.

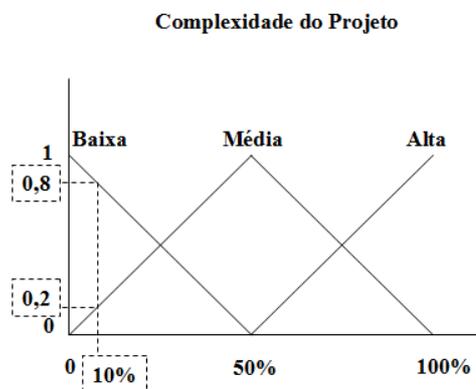


Figura 5.17: Complexidade do Cenário 1 e grau de pertinência

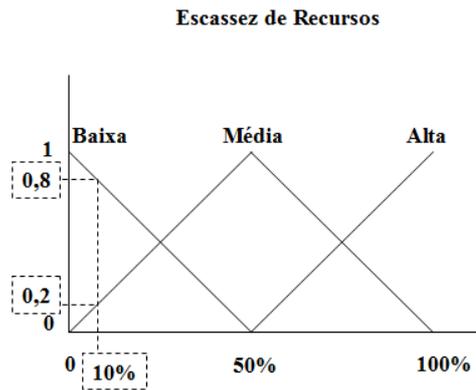


Figura 5.18: Escassez de recursos do Cenário 1 e grau de pertinência

Como pode ser visto nas Figuras 5.17 e 5.18, a complexidade do projeto de 10%, para o cenário 1, é considerada “baixa” com 0,8 grau de pertinência e “média” com 0,2 grau de pertinência. E a escassez de recursos com valor de 10%, é considerada “baixa” com grau de pertinência de 0,8 e “média” com grau de pertinência de 0,2.

#### Etapa 7: Inferência (estágio 1)

Com base nos resultados obtidos na operação de Fuzzificação (estágio 1) para as variáveis lingüísticas, multa contratual (“baixa” e “média”) e margem de lucro (“baixa” e “média”) foram selecionadas as regras 1, 2, 4 e 5 da Figura 5.10 que tem como conjunto “resultado” a variável lingüística fator financeiro, mostrado na Figura 5.9.

A aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 1 pode ser vista na Figura 5.19.

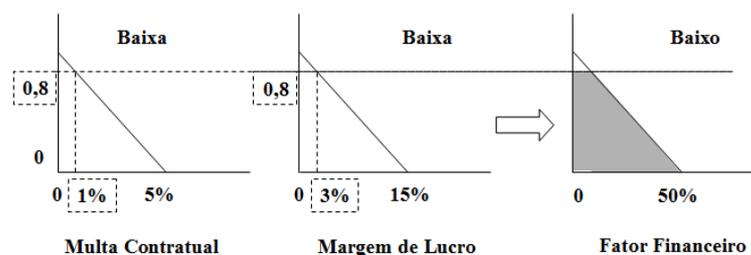


Figura 5.19: Intersecção entre os conjuntos da Regra 1

A Figura 5.19 exibe a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 1. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultado chamado fator financeiro.

A Figura 5.20 mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a Regra 2 com a operação de intersecção (mínimo).

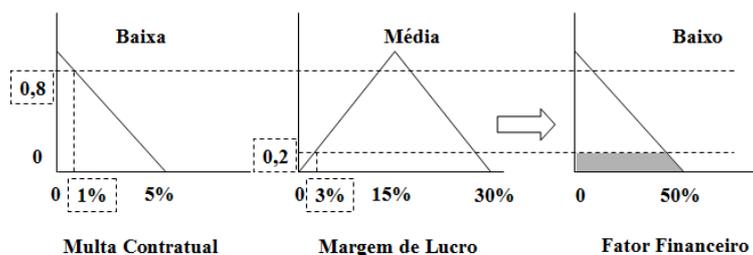


Figura 5.20: Intersecção entre os conjuntos da Regra 2

A Figura 5.20 mostra a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 2. Com a aplicação da operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultante.

A Figura 5.21 mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a regra 4 com a operação de intersecção (mínimo).

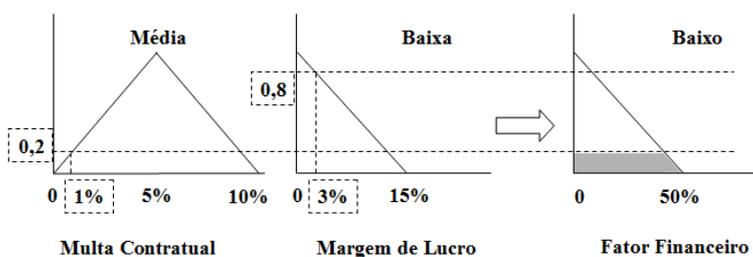


Figura 5.21: Intersecção entre os conjuntos da Regra 4

A intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 4 é mostrado na Figura 5.21. O conjunto resultante, fator financeiro pode ser verificado aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani.

A Figura 5.22 mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a regra 5 com a operação de intersecção (mínimo).

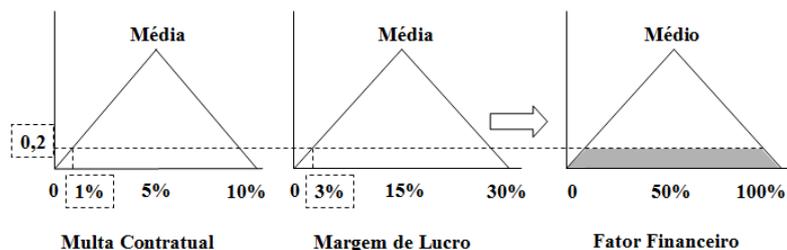


Figura 5.22: Intersecção entre os conjuntos da Regra 5

A Figura 5.22 apresenta a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 5. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultante.

Partindo dos conjuntos resultantes mostrados nas Figuras 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22 foi aplicada a operação de união entre eles por meio do Método de Mamdani. A Figura 5.23 mostra o resultado desta união.

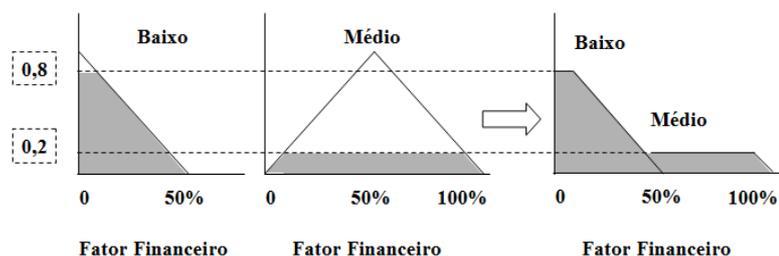


Figura 5.23: União entre os conjuntos resultantes das Regras 1, 2, 4 e 5

O conjunto resultante da Figura 5.19 sobrepõe os conjuntos resultantes das Figuras 5.20 e 5.21. Por isso, foram usados somente dois conjuntos resultantes para efetuar a união deles, ou seja, os dois conjuntos resultantes, apresentados Figura 5.23, são os conjuntos resultantes das Figuras 5.19 e 5.22.

O conjunto resultante, mostrado na Figura 5.23, é o resultado da operação de inferência e será utilizado na operação de Desfuzzificação (estágio 1).

Para as variáveis lingüísticas complexidade do projeto (“baixa” e “média”) e escassez de recurso (“baixa” e “média”), foram selecionadas as regras 1, 2, 4

e 5 da Figura 5.12 que tem como conjunto “resultado” a variável lingüística fator de produção, mostrado na Figura 5.11.

A aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 1 pode ser vista na Figura 5.24.

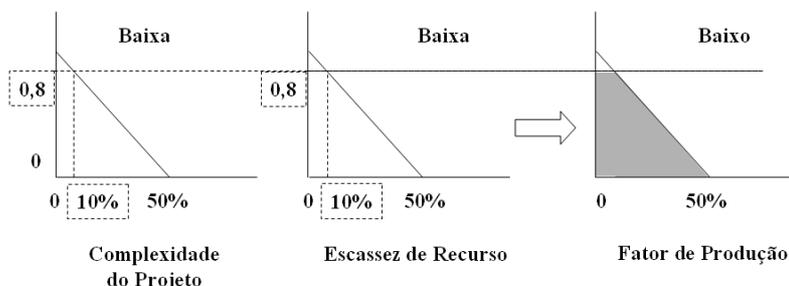


Figura 5.24: Intersecção entre os conjuntos da Regra 1

A Figura 5.24 apresenta a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 1. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultado chamado fator de produção.

A Figura 5.25, mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a regra 2 com a operação de intersecção (mínimo).

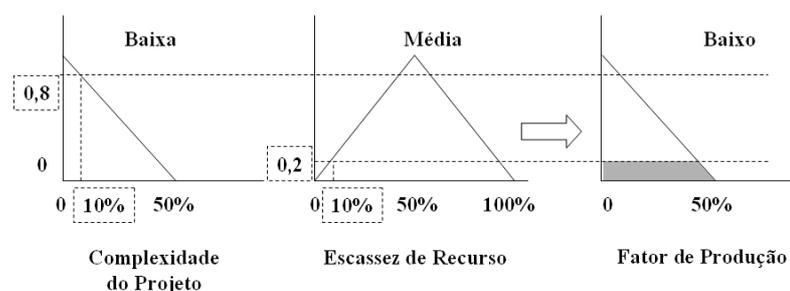


Figura 5.25: Intersecção entre os conjuntos da Regra 2

A Figura 5.25 exhibe a intersecção dos dois conjuntos vinculados à Regra 2. Com a aplicação da operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultante.

A Figura 5.26 mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a regra 4 com a operação de intersecção (mínimo).

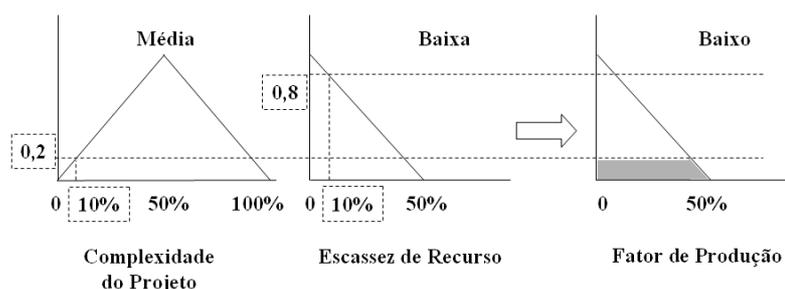


Figura 5.26: Intersecção entre os conjuntos da Regra 4

A intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 4 é apresentado na Figura 5.26. O conjunto resultante, fator de produção pode ser verificado aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani.

A Figura 5.27 mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a regra 5 com a operação de intersecção (mínimo).

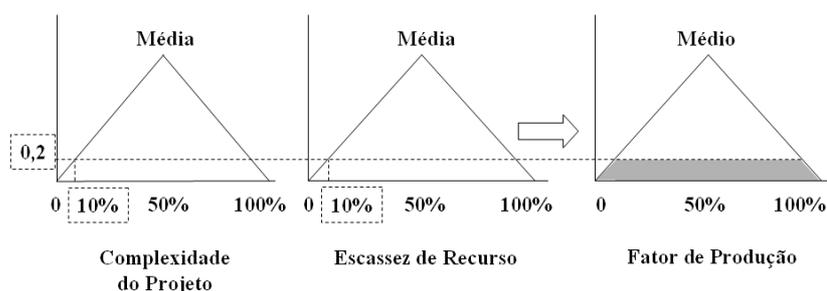


Figura 5.27: Intersecção entre os conjuntos da Regra 5

Na Figura 5.27 é apresentada a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 5. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultante.

Partindo dos conjuntos resultantes mostrados nas Figuras 5.24, 5.25, 5.26 e 5.27 foi aplicada a operação de união entre eles por meio do Método de Mamdani. A Figura 5.28 mostra o resultado desta união.

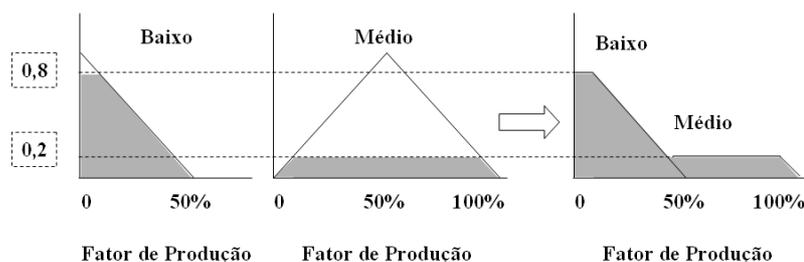


Figura 5.28: União entre os conjuntos resultantes das Regras 1, 2, 4 e 5

O conjunto resultante da Figura 5.24 sobrepõe os conjuntos resultantes das Figuras 5.25 e 5.26. Sendo assim, foram usados dois conjuntos resultantes (Figura 5.24 e Figura 5.27) para efetuar a união dos conjuntos resultantes das quatro regras selecionadas, conforme apresentado Figura 5.28.

O conjunto resultante, mostrado na Figura 5.28, é o resultado da operação de inferência e também será utilizado na operação de Desfuzzificação (estágio 1).

#### Etapa 8: Desfuzzificação (estágio 1)

A Desfuzzificação foi realizada nos dois conjuntos resultantes da operação de Inferência, representados por meio das Figuras 5.23 e 5.28.

Para transformar o conjunto fator financeiro da Figura 5.29, em um valor numérico, foi utilizado o Método do Centro de Gravidade.

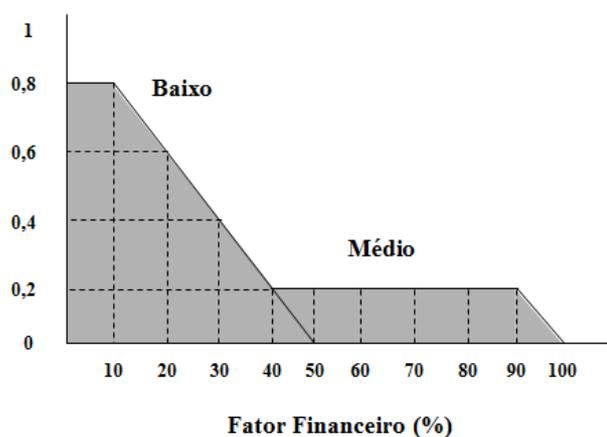


Figura 5.29: Conjunto Fator Financeiro resultante da operação de Desfuzzificação

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.29 foram considerados 9 pontos (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90). A partir desta consideração, segue cálculo do Centro de Gravidade (CG):

$$\text{Centro de Gravidade (CG)} = (10 * 0,8) + (20 * 0,6) + (30 * 0,4) + (40 * 0,2) + (50 * 0,2) + (60 * 0,2) + (70 * 0,2) + (80 * 0,2) + (90 * 0,2) / 0,8 + 0,6 + 0,4 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 = 36,7\%$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Desfuzzificação (estágio 1), pode-se concluir que o Cenário 1 com multa contratual de 1% e margem de lucro de 3% possui um fator financeiro de 36,7%.

Para transformar o conjunto fator de produção da Figura 5.30, em um valor numérico, foi utilizado o Método do Centro de Gravidade.

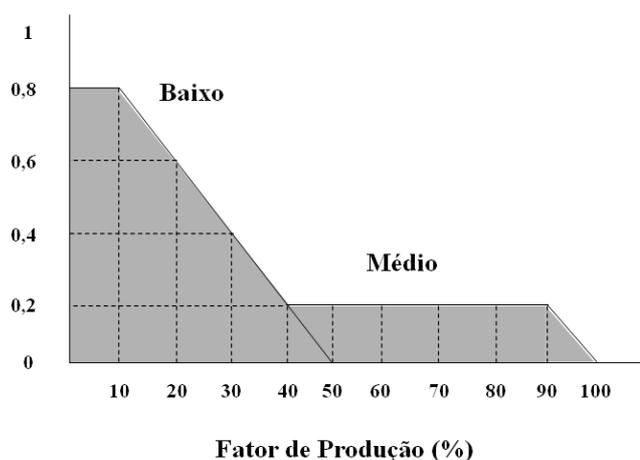


Figura 5.30: Conjunto Fator de Produção resultante da operação de Desfuzzificação

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.30 foram considerados 9 pontos (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90). A partir desta consideração, segue cálculo do Centro de Gravidade (CG):

$$\text{Centro de Gravidade (CG)} = (10 * 0,8) + (20 * 0,6) + (30 * 0,4) + (40 * 0,2) + (50 * 0,2) + (60 * 0,2) + (70 * 0,2) + (80 * 0,2) + (90 * 0,2) / 0,8 + 0,6 + 0,4 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 = 36,7\%$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Desfuzzificação (estágio 1), pode-se concluir que o Cenário 1 com complexidade de projeto de 10% e escassez de recursos de 10% possui um fator de produção de 36,7%.

#### Etapa 6: Fuzzificação (estágio 2)

Na fuzzificação do estágio 2 foram consideradas as variáveis lingüísticas fator financeiro, importância do cliente e fator de produção. Para o Cenário 1 foi considerado um valor de 10% para a importância do cliente e 36,7% tanto para o fator financeiro quanto para o fator de produção (conforme Desfuzzificação do estágio 1).

No estágio 2, a Lógica *Fuzzy* foi aplicada uma única vez sobre as três variáveis lingüísticas citadas no parágrafo anterior. As Figuras 5.31, 5.32 e 5.33 que seguem, demonstram a Fuzzificação sobre essas três variáveis lingüísticas.

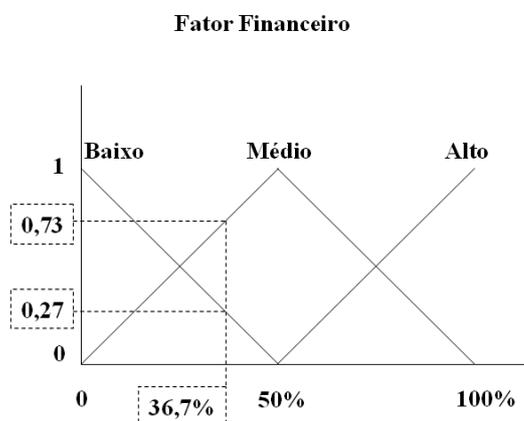


Figura 5.31: Fator Financeiro do Cenário 1 e grau de pertinência

Como pode ser visto na Figura 5.31, o fator financeiro de 36,7%, para o cenário 1, é considerado “baixo” com 0,27 grau de pertinência e “médio” com 0,73 grau de pertinência.

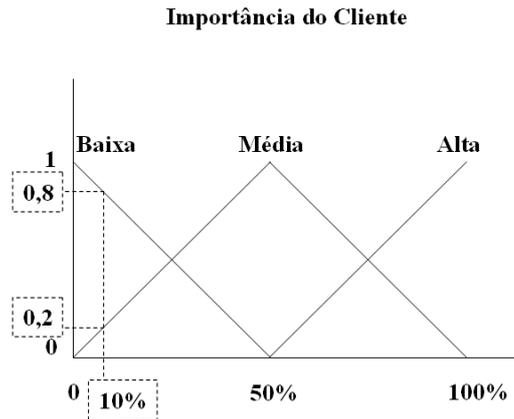


Figura 5.32: Importância do Cliente do Cenário 1 e grau de pertinência

Na Figura 5.32 é possível observar que a importância do cliente no valor de 10%, para o cenário 1, é considerada “baixa” com 0,8 grau de pertinência e “média” com 0,2 grau de pertinência.

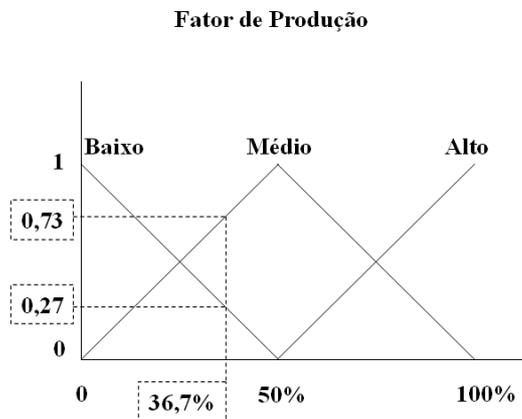


Figura 5.33: Fator de Produção do Cenário 1 e grau de pertinência

A Figura 5.33 mostra que o fator de produção no valor de 36,7%, para o cenário 1, é considerado “baixo” com 0,27 grau de pertinência e “médio” com 0,73 grau de pertinência.

### Etapa 7: Inferência (estágio 2)

De acordo com os resultados obtidos na operação de Fuzzificação (estágio 2) para as variáveis linguísticas, fator financeiro (“baixo” e “médio”), importância do cliente (“baixa” e “média”) e fator de produção (“baixo” e “médio”) foram selecionadas as regras 1, 2, 4, 5, 10, 11, 13 e 14 da Figura 5.14 que tem como conjunto “resultado” a variável linguística fator de ajuste do pulmão de tempo, mostrado na Figura 5.13.

A aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 1 pode ser vista na Figura 5.34. O conjunto resultante também é apresentado nesta Figura.

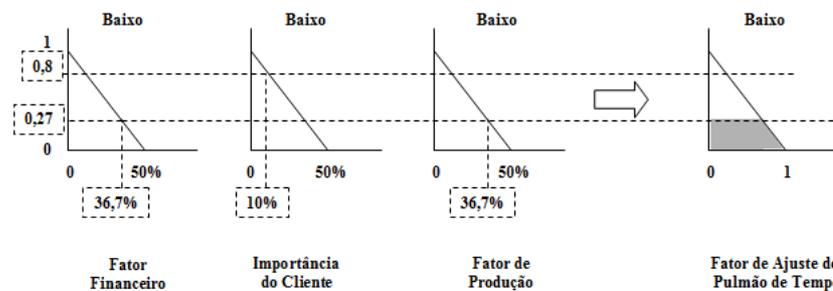


Figura 5.34: Intersecção entre os conjuntos da Regra 1

Na próxima Figura, de número 5.35 é possível verificar o conjunto resultante da aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 2.

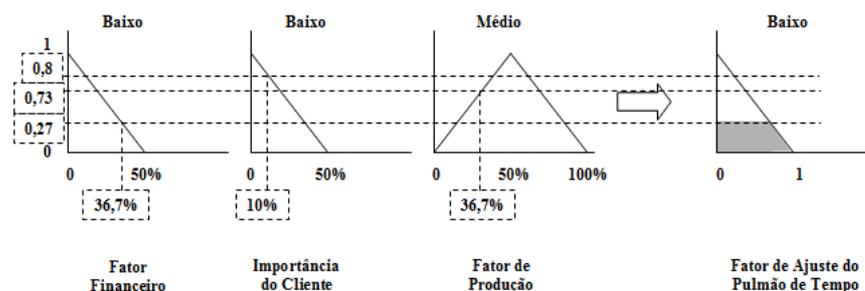


Figura 5.35: Intersecção entre os conjuntos da Regra 2

A regra 4, tem seu conjunto resultante mostrado na Figura 5.36 que segue. Sobre ela, também foi aplicado o Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo).

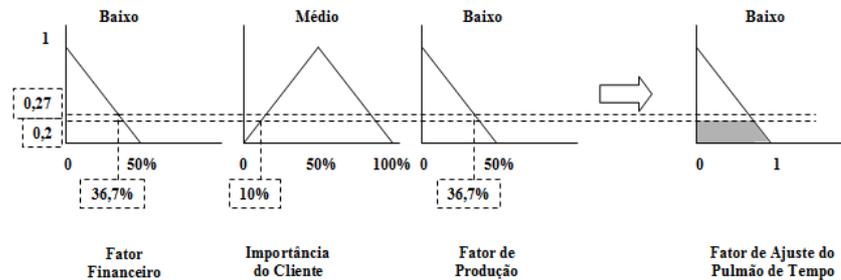


Figura 5.36: Intersecção entre os conjuntos da Regra 4

Na Figura 5.37, está o conjunto resultante da aplicação do Método de Mamdani com operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 5.

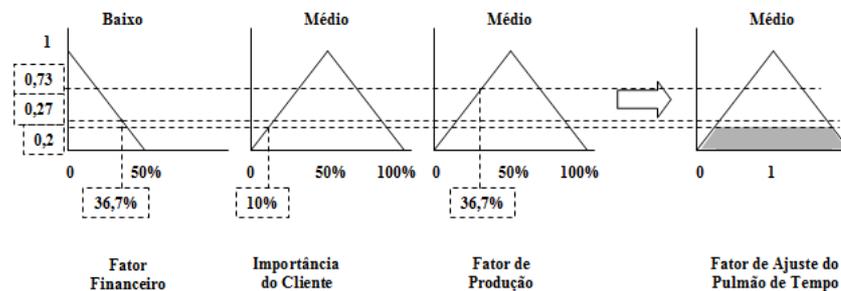


Figura 5.37: Intersecção entre os conjuntos da Regra 5

Na regra 10, o conjunto resultante é apresentado na Figura 5.38. Nesta regra, também foi aplicado o Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo).

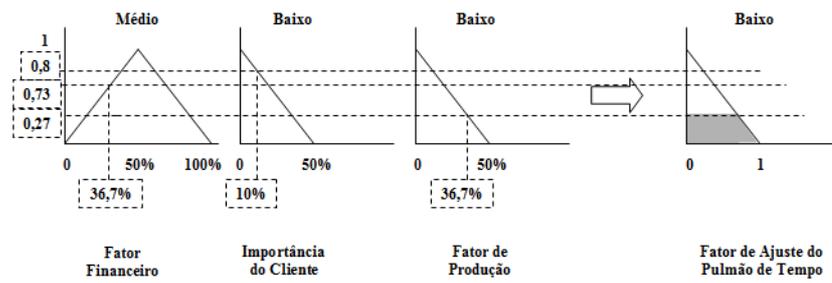


Figura 5.38: Intersecção entre os conjuntos da Regra 10

Para a regra 11, o conjunto resultante com aplicação do Método de Mamdani e operação de intersecção (mínimo), está representado na Figura 5.39.

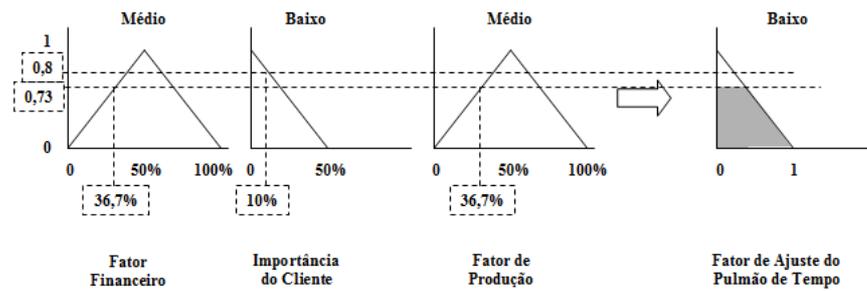


Figura 5.39: Intersecção entre os conjuntos da Regra 11

O conjunto resultante da regra 13 está na Figura 5.40. Para ele, também foi aplicado o Método de Mamdani com operação de intersecção (mínimo).

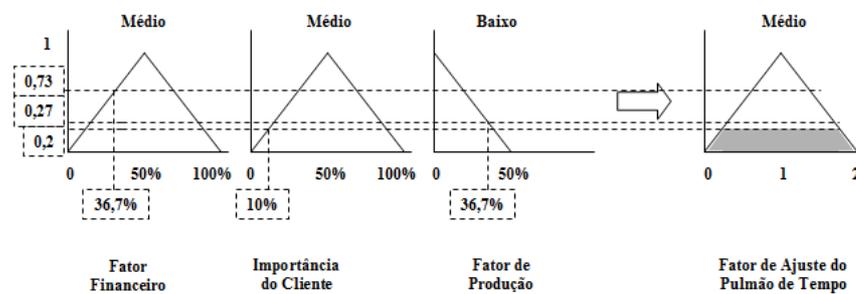


Figura 5.40: Intersecção entre os conjuntos da Regra 13

Por fim, o conjunto resultante da regra 14, está na Figura 5.41.

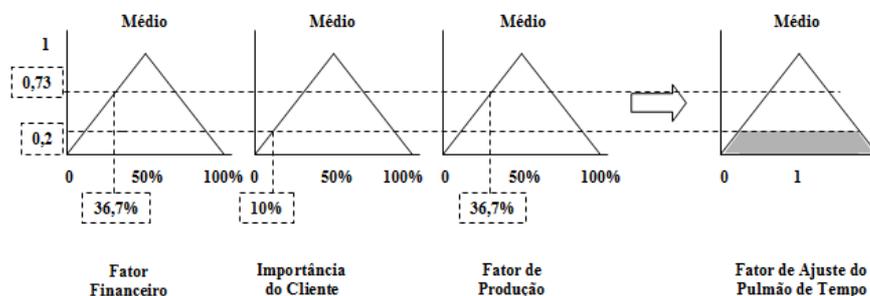


Figura 5.41: Intersecção entre os conjuntos da Regra 14

A partir dos conjuntos resultantes mostrados nas Figuras 5.34, 5.35, 5.36, 5.37, 5.38, 5.39, 5.40 e 5.41 foi aplicada a operação de união entre eles por meio do Método de Mamdani. A Figura 5.42 mostra o resultado desta união.

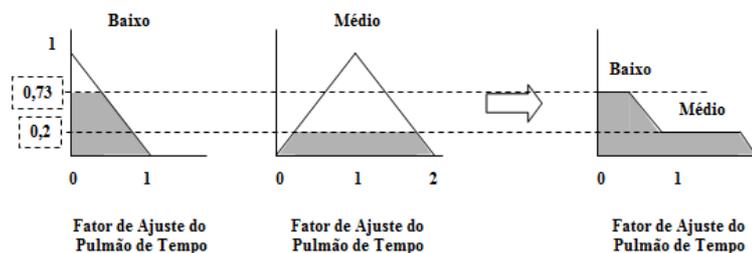


Figura 5.42: União entre os conjuntos resultantes das Regras 1, 2, 4, 5, 10, 11, 13 e 14

Para o conjunto resultante da Figura 5.42 foram utilizados os conjuntos resultantes das Figuras 5.37 e 5.39, pois estes sobrepõem os conjuntos resultantes das Figuras 5.34, 5.35, 5.36, 5.38, 5.40 e 5.41. Foi aplicado o Método de Mamdani com a operação de união.

O conjunto resultante, mostrado na Figura 5.42, é o resultado da operação de inferência e será utilizado na operação de Desfuzzificação (estágio 2).

#### Etapa 8: Desfuzzificação (estágio 2)

Para transformar o conjunto fator de ajuste do pulmão de tempo Figura 5.43, a seguir, em um valor numérico, foi utilizado o Método do Centro de Gravidade.

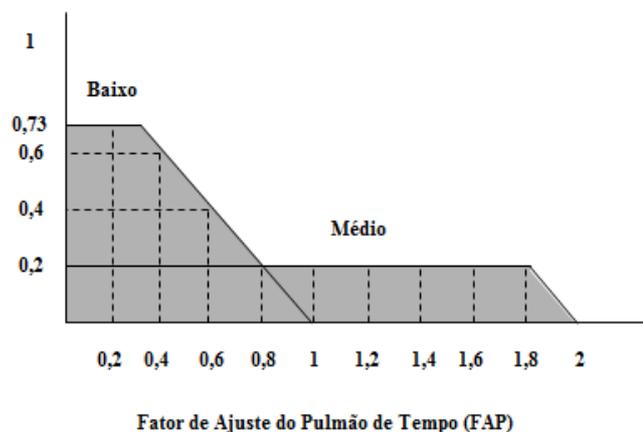


Figura 5.43: Conjunto Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) resultante da operação de Desfuzzificação

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.43 foram considerados 9 pontos (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8). A partir desta consideração, segue cálculo do Centro de Gravidade (CG):

$$\text{Centro de Gravidade (CG)} = (0,2 * 0,73) + (0,4 * 0,6) + (0,6 * 0,4) + (0,8 * 0,2) + (1 * 0,2) + (1,2 * 0,2) + (1,4 * 0,2) + (1,6 * 0,2) + (1,8 * 0,2) / 0,73 + 0,6 + 0,4 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 = 0,7$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Desfuzzificação (estágio 2), pode-se concluir que o Cenário 1 com fator financeiro de 36,7%, importância do cliente de 10% e fator de produção de 36,7% possui um Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) de 0,7.

Etapa 9: A partir do valor do Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) obtido, o pulmão de projeto foi calculado para cada um dos quatro projetos no cenário 1, conforme fórmula apresentada no item 5.1 deste capítulo.

$$\text{Pulmão de Tempo} = \text{FAP} * \text{Raiz Quadrada } (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

#### Projeto 1

$$\text{Pulmão de Projeto} = 0,7 * \text{RQ } (2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2) = 5,5 \text{ dias}$$

Projeto 2

$$\text{Pulmão de Projeto} = 0,7 * \text{RQ} (2^2 + 2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2 + 2^2) = 5,7 \text{ dias}$$

Projeto 3

$$\text{Pulmão de Projeto} = 0,7 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 8^2 + 6^2) = 9,8 \text{ dias}$$

Projeto 4

$$\text{Pulmão de Projeto} = 0,7 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 6^2 + 4^2) = 8,5 \text{ dias}$$

**5.2.3. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 2**

Etapa 6: Fuzzificação (estágio 1)

A primeira aplicação, para os valores de 5% de multa contratual e 15% de margem de lucro, é demonstrada nas Figuras 5.44 e 5.45.

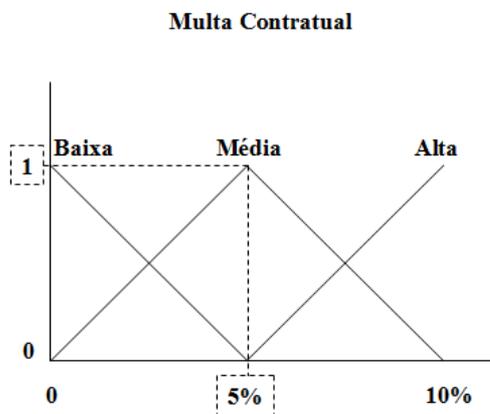


Figura 5.44: Multa Contratual do Cenário 2 e grau de pertinência

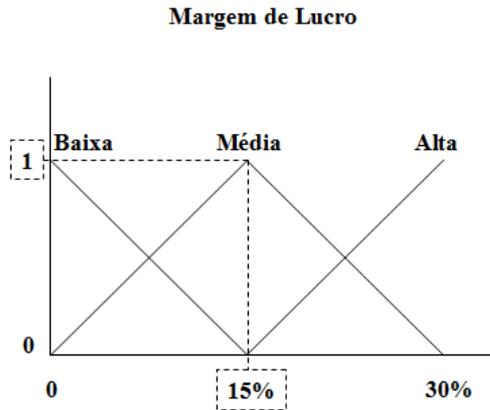


Figura 5.45: Margem de Lucro do Cenário 2 e grau de pertinência

Como pode ser visto nas Figuras 5.44 e 5.45, a multa contratual de 5%, para o cenário 2, é considerada “média” com grau de pertinência 1 e a margem de lucro com valor de 15%, também é considerada “média” com grau de pertinência 1.

A segunda aplicação é apresentada nas Figuras 5.46 e 5.47 para os valores de 50% de complexidade do projeto e 50% de escassez de recursos.

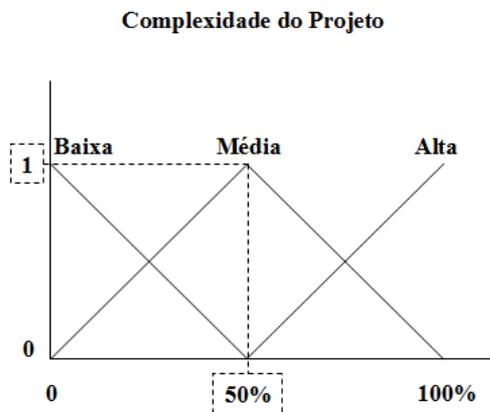


Figura 5.46: Complexidade do Projeto do Cenário 2 e grau de pertinência

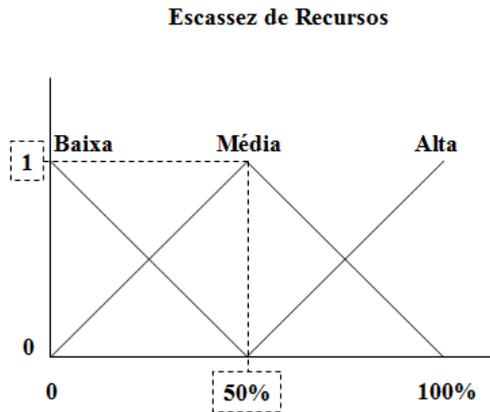


Figura 5.47: Escassez de Recursos do Cenário 2 e grau de pertinência

Como pode ser visto nas Figuras 5.46 e 5.47, a complexidade do projeto de 50%, para o cenário 2, é considerada “média” com grau de pertinência 1 e a escassez de recursos com valor de 50%, é considerada “média” com grau de pertinência igual a 1.

#### Etapa 7: Inferência (estágio 1)

Com base nos resultados obtidos na operação de Fuzzificação (estágio 1) para as variáveis lingüísticas, multa contratual (“média”) e margem de lucro (“média”) foi selecionada a regra 5 da Figura 5.10 que tem como conjunto “resultado” a variável lingüística fator financeiro, mostrado na Figura 5.9.

A aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 5 pode ser vista na Figura 5.48.

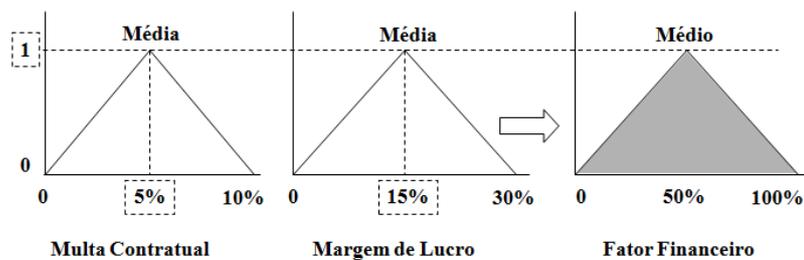


Figura 5.48: Intersecção entre os conjuntos da Regra 5

A Figura 5.48 exibe a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 5. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultado chamado fator financeiro. Pelo fato de se ter uma única regra nesta operação, este conjunto fator financeiro, é o resultado da operação de inferência e será utilizado na operação de Desfuzzificação (estágio 1)

Para as variáveis lingüísticas, complexidade do projeto (“média”) e escassez de recurso (“média”), foi selecionada a regra 5 da Figura 5.12 que tem como conjunto “resultado” a variável lingüística fator de produção, mostrado na Figura 5.11.

A aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 5 pode ser vista na Figura 5.49.

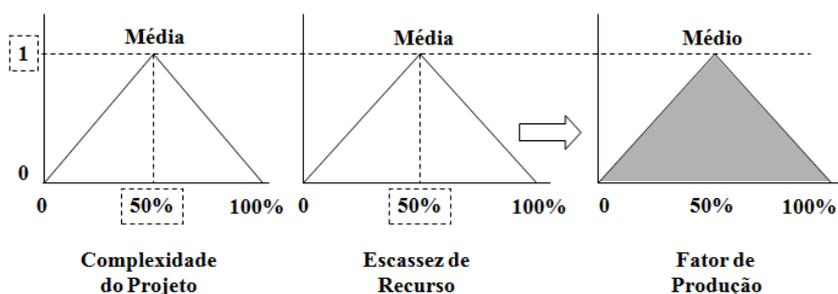


Figura 5.49: Intersecção entre os conjuntos da Regra 5

A intersecção dos conjuntos apresentada na Figura 5.49, mostra o conjunto resultado nomeado fator de produção. Ele é resultante da aplicação da operação de mínimo do Método de Mamdani sobre a regra 5. Por ser a única regra nesta operação, o conjunto fator de produção, também é o resultado da operação de inferência e será utilizado na operação de Desfuzzificação (estágio 1)

#### Etapa 8: Desfuzzificação (estágio 1)

A Desfuzzificação foi realizada nos dois conjuntos resultantes da operação de Inferência, apresentados nas Figuras 5.48 e 5.49.

Para transformar tanto o conjunto fator financeiro quanto o fator de produção, das Figuras 5.50 e 5.51 que seguem, em um valor numérico, foi utilizado o Método do Centro de Gravidade.

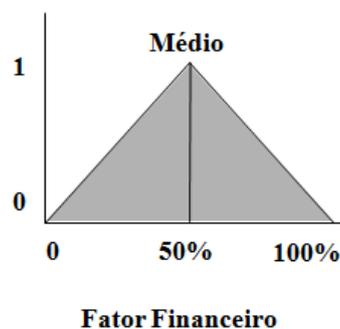


Figura 5.50: Conjunto Fator Financeiro resultante da operação de Desfuzzificação

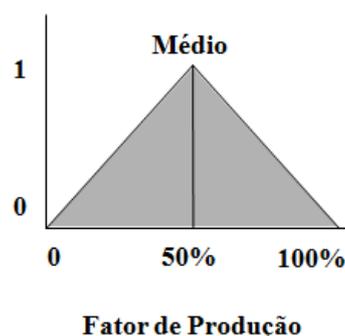


Figura 5.51: Conjunto Fator de Produção resultante da operação de Desfuzzificação

Como pode ser observado nas Figuras 5.50 e 5.51, o centro de gravidade está localização no centro do triângulo, portanto para ambas o resultado da Desfuzzificação (estágio 1) foi de 50%.

#### Etapa 6: Fuzzificação (estágio 2)

Na Fuzzificação deste estágio foram consideradas as variáveis lingüísticas fator financeiro, importância do cliente e fator de produção. Para o Cenário 2 foi considerado um valor de 50% para a importância do cliente, para o fator financeiro e para o fator de produção (conforme Desfuzzificação do estágio 1).

No estágio 2, a Lógica *Fuzzy* foi aplicada uma única vez sobre as três variáveis linguísticas citadas no parágrafo anterior. As Figuras 5.52, 5.53 e 5.54, mostram a Fuzzificação sobre essas três variáveis linguísticas.

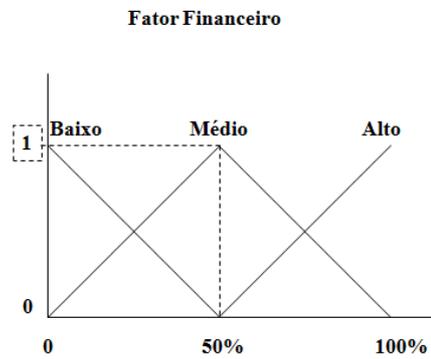


Figura 5.52: Fator Financeiro do Cenário 2 e grau de pertinência

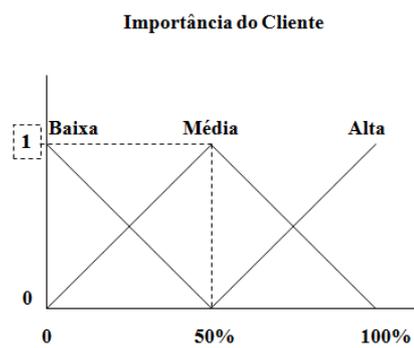


Figura 5.53: Importância do Cliente do Cenário 2 e grau de pertinência

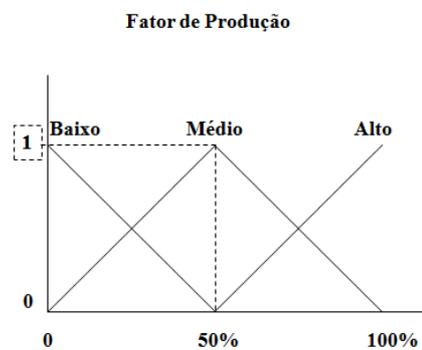


Figura 5.54: Fator de Produção do Cenário 2 e grau de pertinência

Como pode ser visto nas três Figuras anteriores referentes ao cenário 2, as três variáveis linguísticas com valor de 50% são representadas pelo termo linguístico “médio” com grau de pertinência 1.

#### Etapa 7: Inferência (estágio 2)

De acordo com os resultados obtidos na operação de Fuzzificação (estágio 2) para as variáveis linguísticas, fator financeiro (“médio”), importância do cliente (“média”) e fator de produção (“médio”) foi selecionada a regra 14 da Figura 5.14 que tem como conjunto “resultado” a variável linguística fator de ajuste do pulmão de tempo, mostrado na Figura 5.13.

A aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 14 pode ser vista na Figura 5.55. O conjunto resultante também é apresentado nesta Figura.

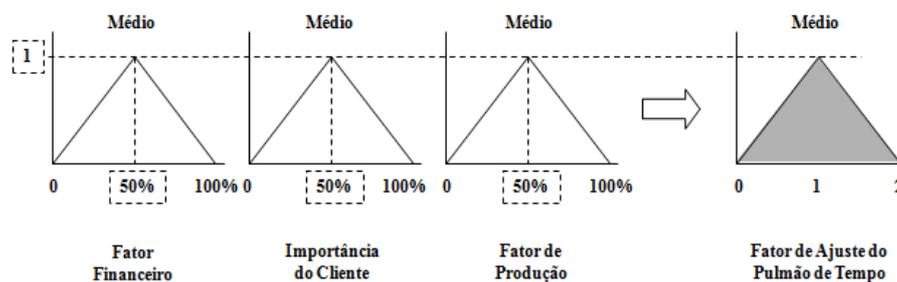


Figura 5.55: Intersecção entre os conjuntos da Regra 14

O conjunto resultante, mostrado na Figura 5.55, é o resultado da operação de inferência e será utilizado na operação de Desfuzzificação (estágio 2).

#### Etapa 8: Desfuzzificação (estágio 2)

Para transformar o conjunto fator de ajuste do pulmão de tempo da Figura 5.56, a seguir, em um valor numérico, foi utilizado o Método do Centro de Gravidade.

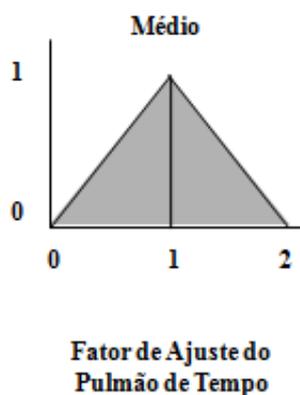


Figura 5.56: Conjunto Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) resultante da operação de Desfuzzificação

Como pode ser observado, neste caso relacionado à Figura 5.56, o centro de gravidade está localizado no centro do triângulo, portanto o resultado da Desfuzzificação (estágio 2) foi igual a 1.

Etapa 9: A partir do valor do Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) obtido, o pulmão de projeto foi calculado para cada um dos quatro projetos no cenário 2, conforme fórmula apresentada no item 5.1 deste capítulo.

$$\text{Pulmão de Tempo} = \text{FAP} * \text{Raiz Quadrada} (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

#### Projeto 1

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1 * \text{RQ} (2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2) = 7,8 \text{ dias}$$

#### Projeto 2

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1 * \text{RQ} (2^2 + 2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2 + 2^2) = 8,2 \text{ dias}$$

#### Projeto 3

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 8^2 + 6^2) = 14 \text{ dias}$$

#### Projeto 4

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 6^2 + 4^2) = 12,2 \text{ dias}$$

### 5.2.4. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 3

Etapa 6: Fuzzificação (estágio 1)

A primeira aplicação, para os valores de 9% de multa contratual e 27% de margem de lucro, está demonstrada nas Figuras 5.57 e 5.58.

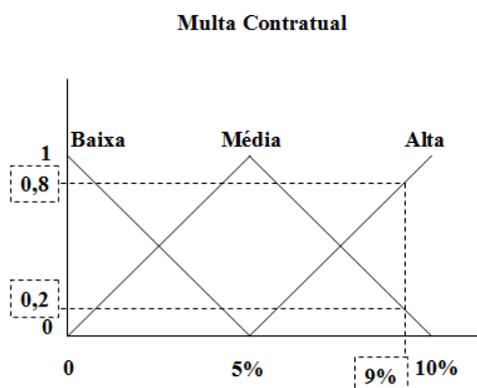


Figura 5.57: Multa Contratual do cenário 3 e grau de pertinência

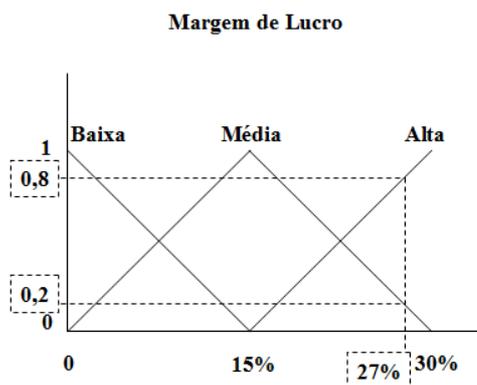


Figura 5.58: Margem de lucro do cenário 3 e grau de pertinência

Como pode ser visto nas Figuras 5.57 e 5.58, a multa contratual de 9%, para o projeto 3, é considerada “média” com grau de pertinência 0,2 e “alta” com grau de pertinência 0,8. A margem de lucro com valor de 27%, também é considerada “média” com grau de pertinência 0,2 e alta com pertinência de 0,8.

A segunda aplicação é mostrada nas Figuras 5.59 e 5.60 para os valores de 90% de complexidade do projeto e 90% de escassez de recursos.

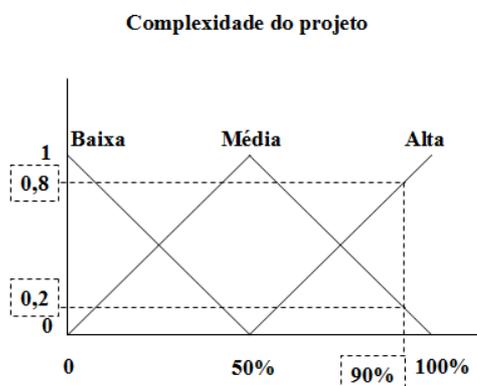


Figura 5.59: Complexidade do Cenário 3 e grau de pertinência

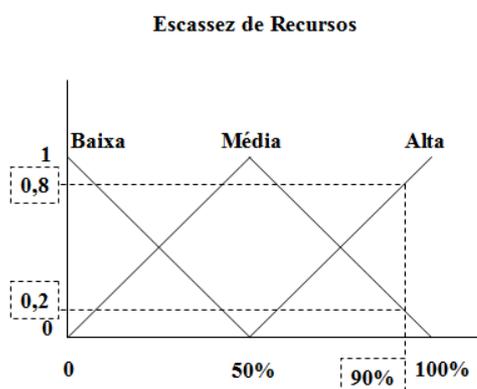


Figura 5.60: Escassez de recursos do Cenário 3 e grau de pertinência

Como pode ser visto nas Figuras 5.59 e 5.60, a complexidade do projeto de 90%, para o cenário 3, é considerada “média” com grau de pertinência 0,2 e “alta” com grau de pertinência de 0,8. A escassez de recursos com valor de 90%, é considerada “média” com grau de pertinência 0,2 e “alta” com pertinência igual a 1.

#### Etapa 7: Inferência (estágio 1)

Com base nos resultados obtidos na operação de Fuzzificação (estágio 1) para as variáveis linguísticas, multa contratual (“média” e “alta”) e margem de lucro

(“média” e “alta”) foram selecionadas as regras 5, 6, 8 e 9 da Figura 5.10 que tem como conjunto “resultado” a variável lingüística fator financeiro, mostrado na Figura 5.9.

A aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 5 pode ser vista na Figura 5.61.

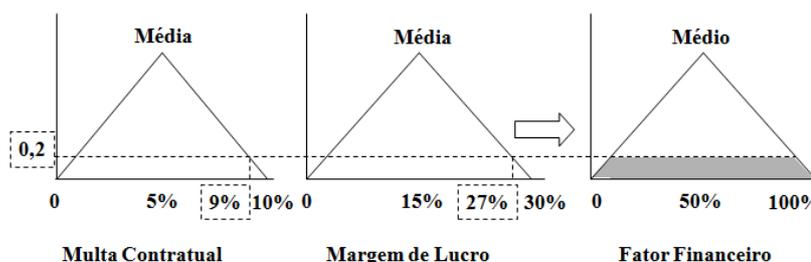


Figura 5.61: Intersecção entre os conjuntos da Regra 5

Na Figura 5.61 pode-se ver a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 5. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultado chamado fator financeiro.

A Figura 5.62 mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a Regra 6 com a operação de intersecção (mínimo).

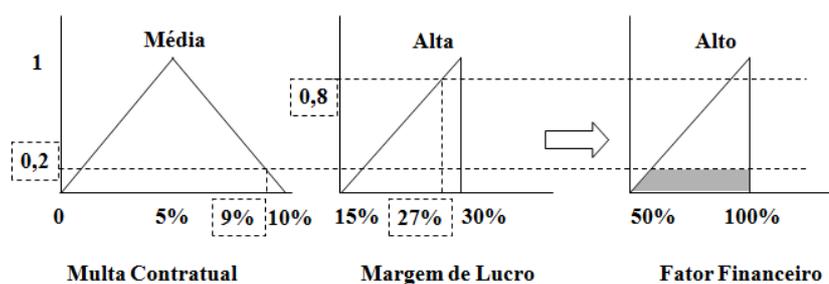


Figura 5.62: Intersecção entre os conjuntos da Regra 6

A Figura 5.62 mostra a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 6. Com a aplicação da operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultante.

A Figura 5.63 mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a Regra 8 com a operação de intersecção (mínimo).

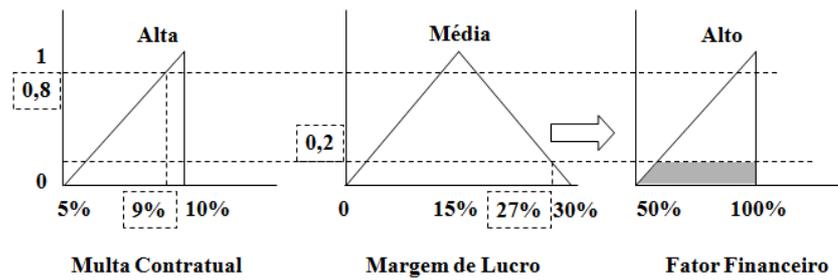


Figura 5.63: Intersecção entre os conjuntos da Regra 8

A intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 8 é mostrado na Figura 5.63. O conjunto resultante, fator financeiro pode ser verificado aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani.

A Figura 5.64 exhibe a aplicação do Método de Mamdani sobre a Regra 5 com a operação de intersecção (mínimo).

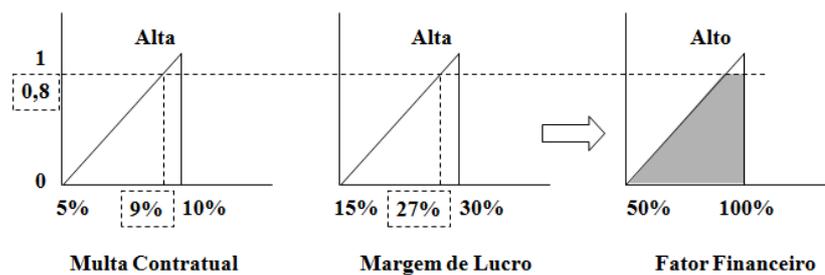


Figura 5.64: Intersecção entre os conjuntos da Regra 9

A Figura 5.64 representa a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 9. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultante.

Partindo dos conjuntos resultantes mostrados nas Figuras 5.61, 5.62, 5.63 e 5.64 foi aplicada a operação de união entre eles por meio do Método de Mamdani. É possível visualizar o resultado desta união na Figura 5.65 que segue.

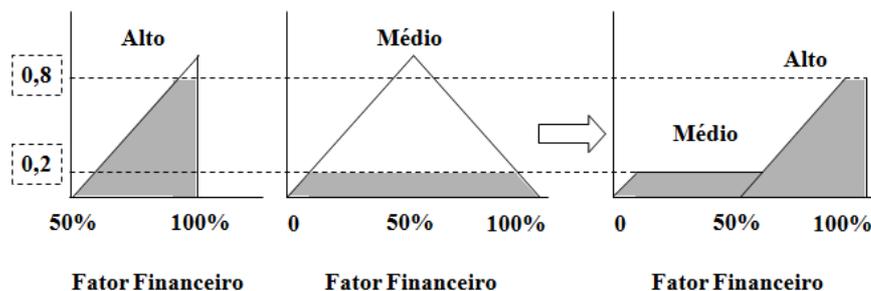


Figura 5.65: União entre os conjuntos resultantes das regras 5, 6, 8 e 9

O conjunto resultante da Figura 5.64 sobrepõe os conjuntos resultantes das Figuras 5.63 e 5.62. Por isso, foram usados somente dois conjuntos resultantes para efetuar a união deles, ou seja, os dois conjuntos resultantes apresentados Figura 5.65, são os conjuntos resultantes das Figuras 5.61 e 5.64.

O conjunto resultante, mostrado na Figura 5.65, é o resultado da operação de inferência e será utilizado na operação de Desfuzzificação (estágio 1).

Para as variáveis lingüísticas, complexidade do projeto (“média” e “alta”) e escassez de recurso (“média” e “alta”), foram selecionadas as regras 5, 6, 8 e 9 da Figura 5.12 que tem como conjunto “resultado” a variável lingüística fator de produção, mostrado na Figura 5.11.

A aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 5 pode ser vista na Figura 5.66 na seqüência do texto.

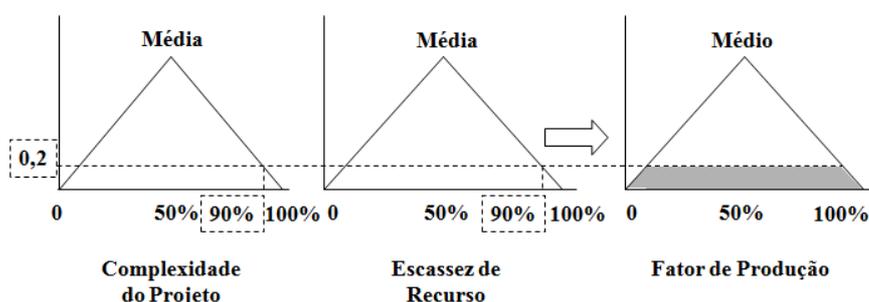


Figura 5.66: Intersecção entre os conjuntos da Regra 5

A Figura 5.66 mostra a intersecção dos dois conjuntos relacionados com a Regra 5. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultado chamado fator de produção.

A Figura 5.67, mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a regra 6 com a operação de intersecção (mínimo).

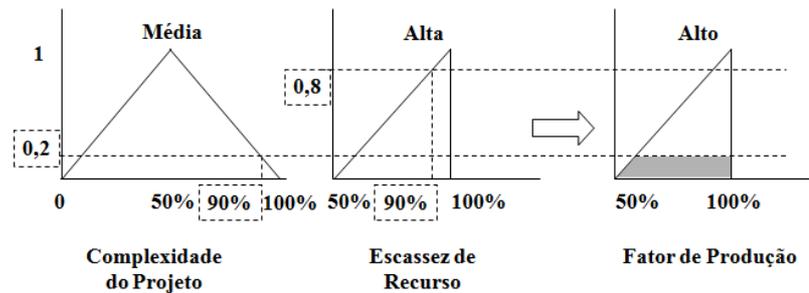


Figura 5.67: Intersecção entre os conjuntos da Regra 6

A Figura 5.67 apresenta a intersecção dos dois conjuntos da Regra 6. Com a aplicação da operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultante.

A Figura 5.68 mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a Regra 8 com a operação de intersecção (mínimo).

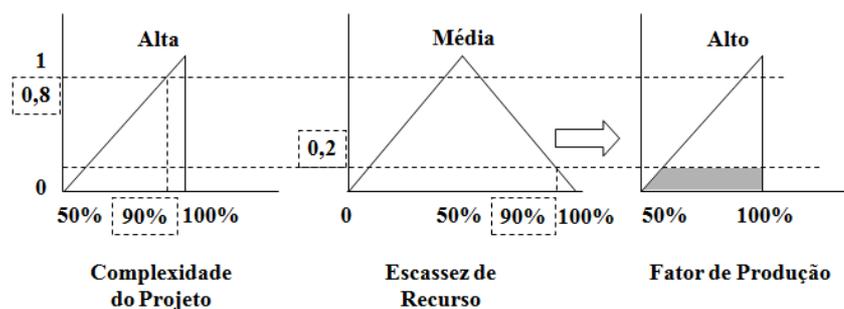


Figura 5.68: Intersecção entre os conjuntos da Regra 8

A intersecção dos dois conjuntos da Regra 8 é apresentado na Figura 5.68. O conjunto resultante, fator de produção pode ser verificado aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani.

A Figura 5.69 mostra a aplicação do Método de Mamdani sobre a Regra 9 com a operação de intersecção (mínimo).

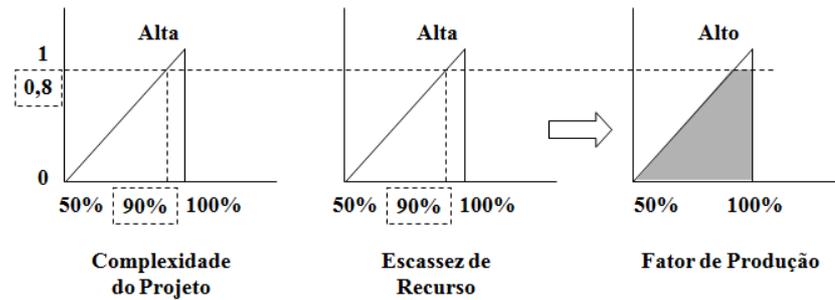


Figura 5.69: Intersecção entre os conjuntos da Regra 9

Na Figura 5.69 é apresentada a intersecção dos dois conjuntos vinculados a Regra 9. Aplicando a operação de mínimo do Método de Mamdani é possível verificar o conjunto resultante.

Com base nos conjuntos resultantes mostrados nas Figuras 5.66, 5.67, 5.68 e 5.69 foi aplicada a operação de união entre eles por meio do Método de Mamdani. A Figura 5.70 mostra o resultado desta união.

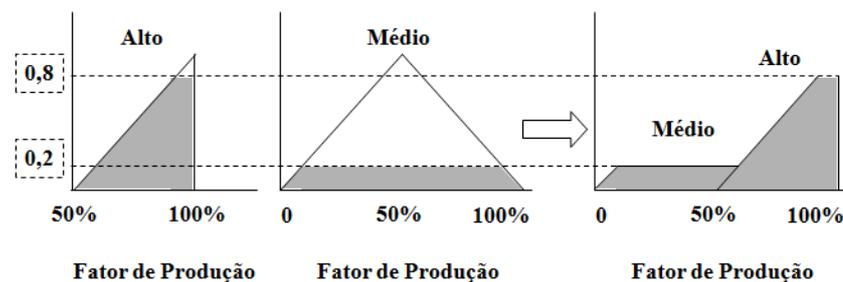


Figura 5.70: União entre os conjuntos resultantes das regras 5, 6, 8 e 9

O conjunto resultante da Figura 5.69 sobrepõe os conjuntos resultantes das Figuras 5.67 e 5.68. Sendo assim, foram usados dois conjuntos resultantes (Figura 5.69 e Figura 5.66) para efetuar a união dos conjuntos resultantes das quatro regras selecionadas, conforme apresentado Figura 5.70.

O conjunto resultante, mostrado na Figura 5.70, é o resultado da operação de inferência e também será utilizado na operação de Desfuzzificação (estágio 1).

### Etapa 8: Desfuzzificação (estágio 1)

A Desfuzzificação foi realizada nos dois conjuntos resultantes da operação de Inferência, representados por meio das Figuras 5.65 e 5.70.

Para transformar o conjunto fator financeiro da Figura 5.71 a seguir, em um valor numérico, foi utilizado o Método do Centro de Gravidade.

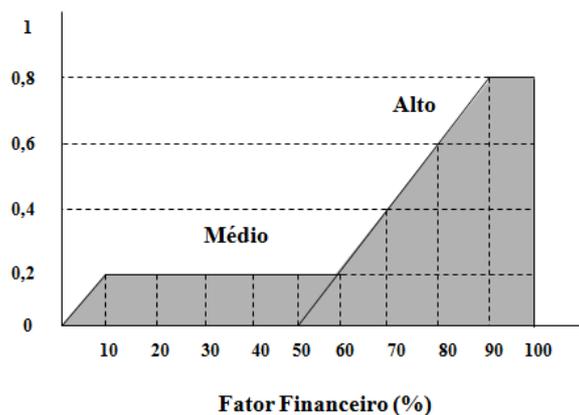


Figura 5.71: Conjunto Fator Financeiro resultante da operação de Desfuzzificação

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.71 foram considerados 9 pontos (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90). A partir desta consideração, segue cálculo do Centro de Gravidade (CG):

$$\text{Centro de Gravidade (CG)} = (10 * 0,2) + (20 * 0,2) + (30 * 0,2) + (40 * 0,2) + (50 * 0,2) + (60 * 0,2) + (70 * 0,4) + (80 * 0,6) + (90 * 0,8) / 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,4 + 0,6 + 0,8 = 63,3\%$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Desfuzzificação (estágio 1), pode-se concluir que o Cenário 3 com multa contratual de 9% e margem de lucro de 27% possui um fator financeiro de 63,3%.

Para transformar o conjunto fator de produção da Figura 5.72 que segue, em um valor numérico, também foi utilizado o Método do Centro de Gravidade.

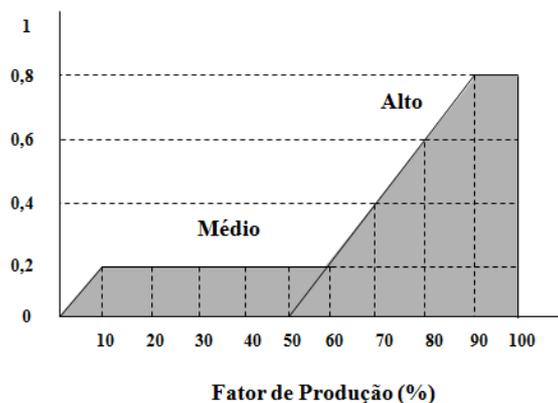


Figura 5.72: Conjunto Fator de Produção resultante da operação de Desfuzzificação

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.72 foram considerados 9 pontos (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90). A partir desta consideração, segue cálculo do Centro de Gravidade (CG):

$$\text{Centro de Gravidade (CG)} = (10 * 0,2) + (20 * 0,2) + (30 * 0,2) + (40 * 0,2) + (50 * 0,2) + (60 * 0,2) + (70 * 0,4) + (80 * 0,6) + (90 * 0,8) / 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,4 + 0,6 + 0,8 = 63,3\%$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Desfuzzificação (estágio 1), pode-se concluir que o Cenário 3 com complexidade do projeto de 90% e escassez de recurso de 27% possui um fator de produção de 63,3%.

#### Etapa 6: Fuzzificação (estágio 2)

Na Fuzzificação do estágio 2 foram consideradas as variáveis lingüísticas fator financeiro, importância do cliente e fator de produção. Para o Cenário 3 foi considerado um valor de 90% para a importância do cliente e 63,3% tanto para o fator financeiro quanto para o fator de produção (conforme Desfuzzificação do estágio 1).

No estágio 2, a Lógica *Fuzzy* foi aplicada uma única vez sobre as três variáveis lingüísticas citadas no parágrafo anterior. As Figuras 5.73, 5.74 e 5.75 que seguem, apresentam a Fuzzificação sobre essas três variáveis lingüísticas.

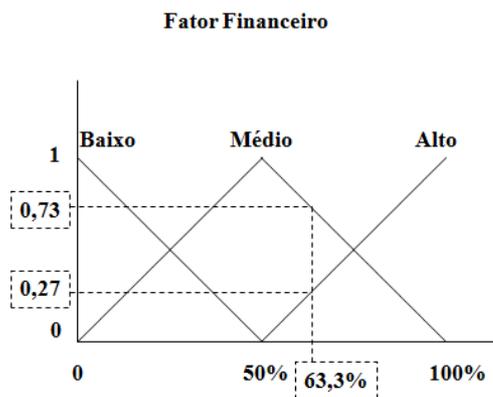


Figura 5.73: Fator Financeiro do Cenário 3 e grau de pertinência

Como pode ser visto na Figura 5.73, o fator financeiro de 63,3%, para o cenário 3, é considerado “alto” com 0,27 grau de pertinência e “médio” com 0,73 grau de pertinência.

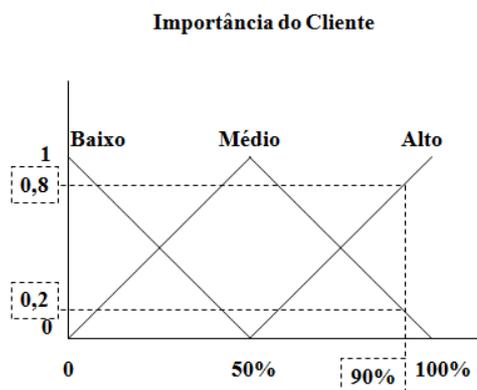


Figura 5.74: Importância do Cliente do Cenário 3 e grau de pertinência

Na Figura 5.74 é possível observar que a importância do cliente no valor de 90%, para o cenário 3, é considerada “alta” com 0,8 grau de pertinência e “média” com 0,2 grau de pertinência.

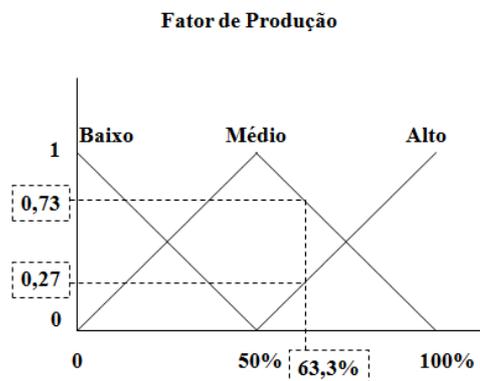


Figura 5.75: Fator de Produção do Cenário 3 e grau de pertinência

A Figura 5.75 mostra que o fator de produção no valor de 63,3%, para o cenário 3, é considerado “alto” com 0,27 grau de pertinência e “médio” com 0,73 grau de pertinência.

#### Etapa 7: Inferência (estágio 2)

Com base nos resultados obtidos na operação de Fuzzificação (estágio 2) para as variáveis lingüísticas, fator financeiro (“médio” e “alto”), importância do cliente (“média” e “alta”) e fator de produção (“médio” e “alto”) foram selecionadas as regras 14, 15, 17, 18, 23, 24, 26 e 27 da Figura 5.14 que tem como conjunto “resultado” a variável lingüística fator de ajuste do pulmão de tempo, mostrado na Figura 5.13.

A aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a regra 14 pode ser vista na Figura 5.76. O conjunto resultante também é apresentado nesta Figura.

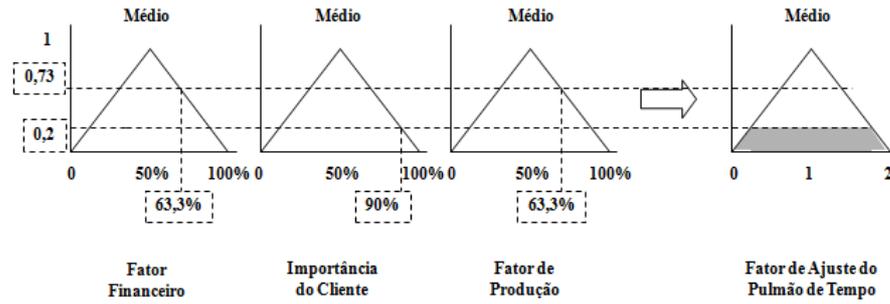


Figura 5.76: Intersecção entre os conjuntos da Regra 14

Na Figura 5.76 é possível verificar o conjunto resultante da aplicação do Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo) sobre a Regra 15.

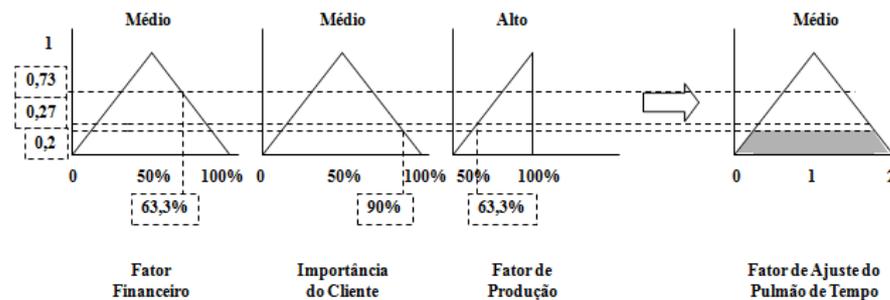


Figura 5.77: Intersecção entre os conjuntos da Regra 15

A Regra 17 tem seu conjunto resultante mostrado na Figura 5.78 que segue. Sobre ela, também foi aplicado o Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo).

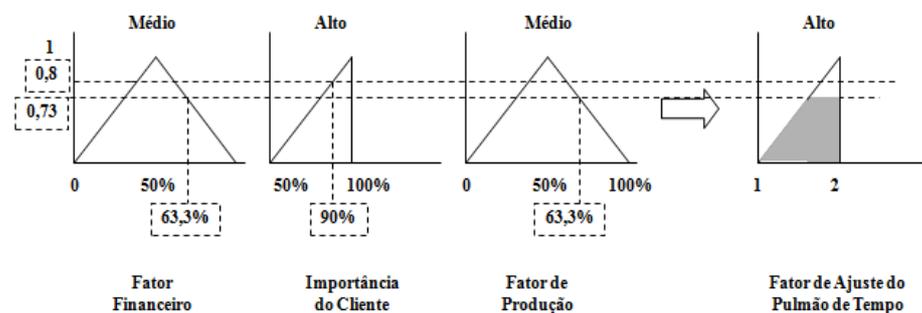


Figura 5.78: Intersecção entre os conjuntos da Regra 17

Na Figura 5.79, está o conjunto resultante da aplicação do Método de Mamdani com operação de intersecção (mínimo) sobre a Regra 18.

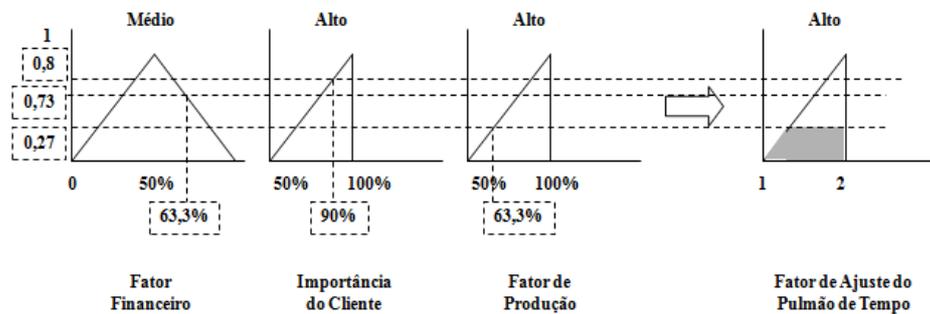


Figura 5.79: Intersecção entre os conjuntos da Regra 18

Na regra 23, o conjunto resultante é apresentado na Figura 5.80 que segue. Para esta regra, também foi aplicado o Método de Mamdani com a operação de intersecção (mínimo).

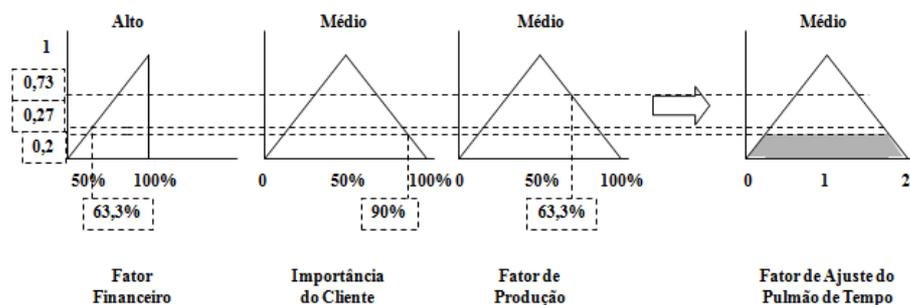


Figura 5.80: Intersecção entre os conjuntos da Regra 23

Para a Regra 24, o conjunto resultante com aplicação do Método de Mamdani e operação de intersecção (mínimo), está representado na Figura 5.81.

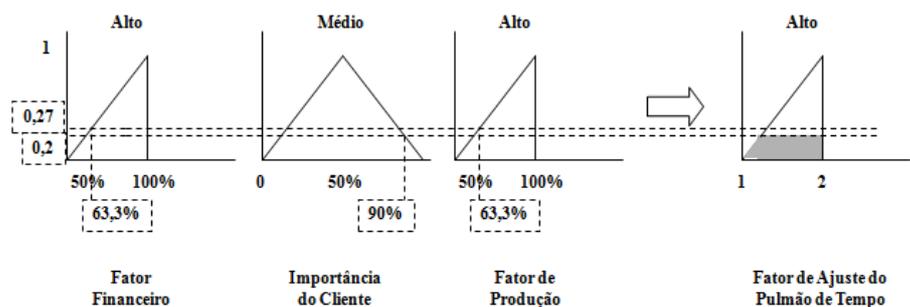


Figura 5.81: Intersecção entre os conjuntos da Regra 24

O conjunto resultante da Regra 26 está na Figura 5.82 que segue. Para ele, também foi aplicado o Método de Mamdani com operação de intersecção (mínimo).

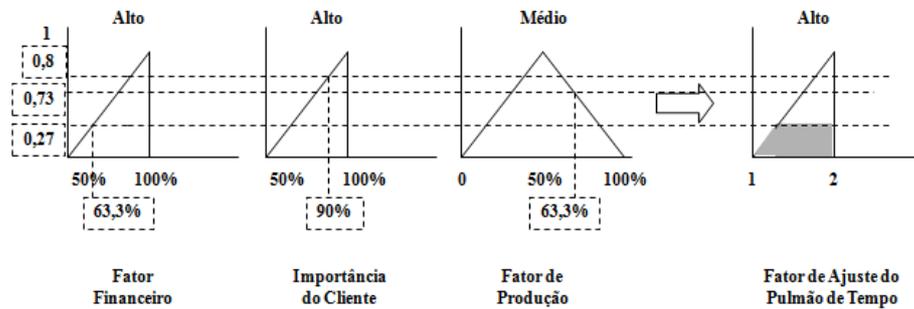


Figura 5.82: Intersecção entre os conjuntos da Regra 26

Por último, o conjunto resultante da regra 27, é apresentado na Figura 5.83.

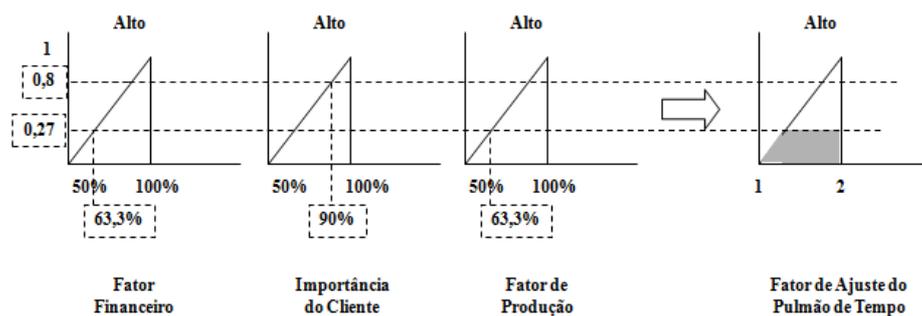


Figura 5.83: Intersecção entre os conjuntos da Regra 27

A partir dos conjuntos resultantes mostrados nas Figuras 5.76, 5.77, 5.78, 5.79, 5.80, 5.81, 5.82 e 5.83 foi aplicada a operação de união entre eles por meio do Método de Mamdani. A Figura 5.84 mostra o resultado desta união.

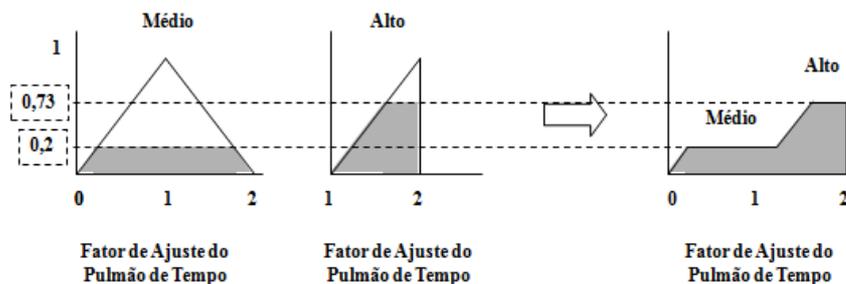


Figura 5.84: União entre os conjuntos resultantes das Regras 14, 15, 17, 18, 23, 24, 26 e 27

Para o conjunto resultante da Figura 5.84 foram utilizados os conjuntos resultantes das Figuras 5.76 e 5.78, pois estes sobrepõem os conjuntos resultantes das Figuras 5.77, 5.79, 5.80, 5.81, 5.82 e 5.83. Foi aplicado o Método de Mamdani com a operação de união.

O conjunto resultante, mostrado na Figura 5.84, é o resultado da operação de inferência e será utilizado na operação de Desfuzzificação (estágio 2).

#### Etapa 8: Desfuzzificação (estágio 2)

Para transformar o conjunto fator de ajuste do pulmão de tempo da Figura 5.85, em um valor numérico, foi utilizado o Método do Centro de Gravidade.

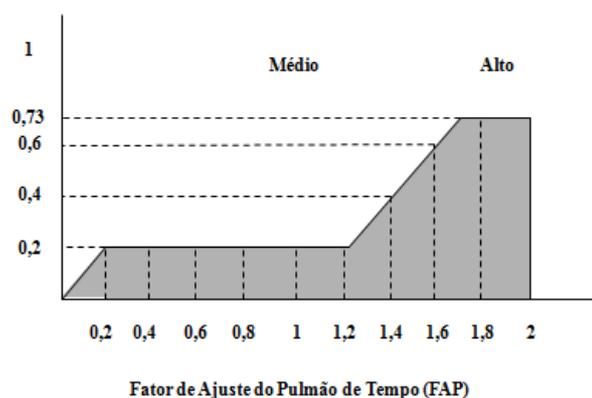


Figura 5.85: Conjunto Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) resultante da operação de Desfuzzificação

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.85 foram considerados 9 pontos (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8). A partir desta consideração, cálculo do Centro de Gravidade (CG) a seguir:

$$\text{Centro de Gravidade (CG)} = (0,2 * 0,2) + (0,4 * 0,2) + (0,6 * 0,2) + (0,8 * 0,2) + (1 * 0,2) + (1,2 * 0,2) + (1,4 * 0,4) + (1,6 * 0,6) + (1,8 * 0,73) / 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,4 + 0,6 + 0,73 = 1,3$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Desfuzzificação (estágio 2), pode-se concluir que o Cenário 3 com fator financeiro de 63,3%, importância do cliente de 90% e fator de produção de 63,3% possui um fator de ajuste de pulmão de tempo de 1,3.

Etapa 9: A partir do valor do Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) obtido, o pulmão de projeto foi calculado para cada um dos quatro projetos no cenário 3, conforme fórmula apresentada no item 5.1 deste capítulo.

$$\text{Pulmão de Tempo} = \text{FAP} * \text{Raiz Quadrada} (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

#### Projeto 1

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,3 * \text{RQ} (2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2) = 10,1 \text{ dias}$$

#### Projeto 2

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,3 * \text{RQ} (2^2 + 2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2 + 2^2) = 10,7 \text{ dias}$$

#### Projeto 3

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,3 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 8^2 + 6^2) = 18,2 \text{ dias}$$

#### Projeto 4

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,3 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 6^2 + 4^2) = 15,9 \text{ dias}$$

### **5.2.5. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 4**

Para o cenário 4, cada um dos projetos teve suas características identificadas no caso estudado, ou seja, os valores das variáveis lingüísticas foram extraídos de casos reais. Dessa forma foi necessário calcular o Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) para cada um dos projetos. Para resumir a aplicação da Lógica *Fuzzy* no cenário 4, apenas as etapas 8 e 9 foram demonstradas como segue.

### Etapa 8: Desfuzzificação (Projeto 1)

O conjunto resultante para a operação de Desfuzzificação do Projeto 1 está na Figura 5.86 que segue.

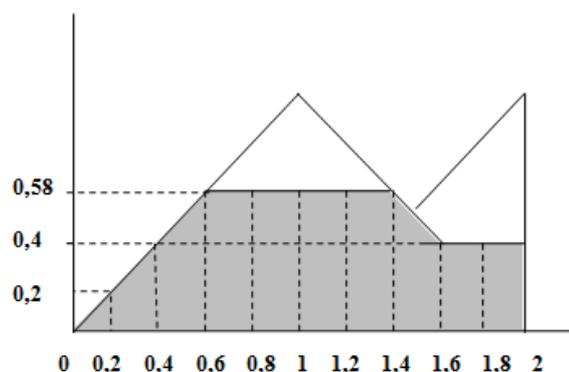


Figura 5.86: Conjunto Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) resultante da operação de Desfuzzificação do Projeto 1 – Cenário 4

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.86 foram considerados 9 pontos (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8). A partir desta consideração, o cálculo do Centro de Gravidade (CG) está demonstrado a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Centro de Gravidade (CG)} &= (0,2 * 0,2) + (0,4 * 0,4) + (0,6 * 0,58) + \\ & (0,8 * 0,58) + (1 * 0,58) + (1,2 * 0,58) + (1,4 * 0,58) + (1,6 * 0,4) + (1,8 * 0,4) / 0,2 + \\ & 0,4 + 0,58 + 0,58 + 0,58 + 0,58 + 0,58 + 0,4 + 0,4 = 1,04 \end{aligned}$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Desfuzzificação, pode-se concluir que o Projeto 1 no cenário 4 possui um fator de ajuste de pulmão de tempo de 1,04.

Etapa 9: A partir do valor do Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) obtido, o pulmão de projeto foi calculado para o projeto 1 no cenário 4, conforme fórmula apresentada no item 5.1 deste capítulo.

$$\text{Pulmão de Tempo} = \text{FAP} * \text{Raiz Quadrada} (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

### Projeto 1

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,04 * RQ (2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2) = 8,1 \text{ dias}$$

### Etapa 8: Desfuzzificação (Projeto 2)

O conjunto resultante para a operação de Desfuzzificação do Projeto 2 está na Figura 5.87 que segue.

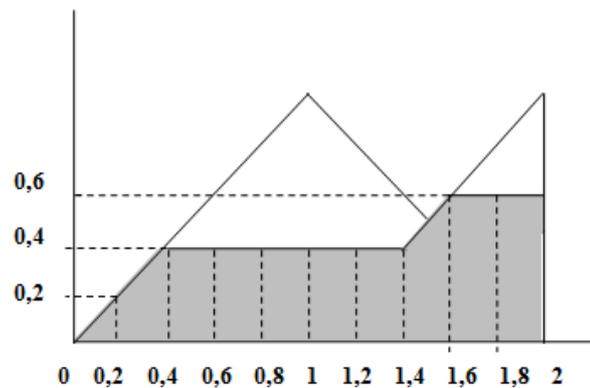


Figura 5.87: Conjunto Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) resultante da operação de Desfuzzificação do Projeto 2 – Cenário 4

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.87 foram considerados 9 pontos (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8). A partir desta consideração, o cálculo do Centro de Gravidade (CG) está demonstrado a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Centro de Gravidade (CG)} &= (0,2 * 0,2) + (0,4 * 0,4) + (0,6 * 0,4) + (0,8 \\ &* 0,4) + (1 * 0,4) + (1,2 * 0,4) + (1,4 * 0,4) + (1,6 * 0,6) + (1,8 * 0,6) / 0,2 + 0,4 + 0,4 + \\ &0,4 + 0,4 + 0,4 + 0,4 + 0,6 + 0,6 = 1,12 \end{aligned}$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Desfuzzificação, pode-se concluir que o Projeto 2 no cenário 4 possui um fator de ajuste de pulmão de tempo de 1,12.

Etapa 9: A partir do valor do Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) obtido, o pulmão de projeto foi calculado para o projeto 2 no cenário 4, conforme fórmula apresentada no item 5.1 deste capítulo.

$$\text{Pulmão de Tempo} = \text{FAP} * \text{Raiz Quadrada} (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

#### Projeto 2

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,12 * \text{RQ} (2^2 + 2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2 + 2^2) = 9,2 \text{ dias}$$

#### Etapa 8: Desfuzzificação (Projeto 3)

O conjunto resultante para a operação de Desfuzzificação do Projeto 3 está na Figura 5.88 que segue.

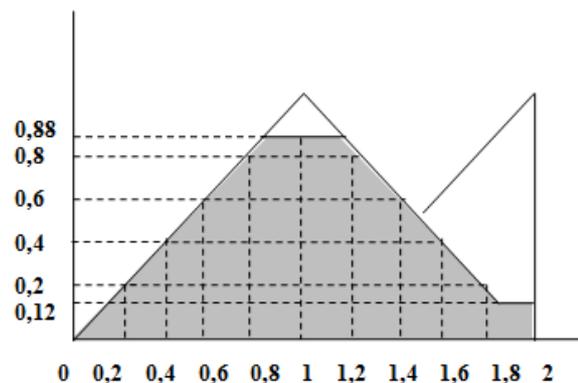


Figura 5.88: Conjunto Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) resultante da operação de Desfuzzificação do Projeto 3 – Cenário 4

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.88 foram considerados 9 pontos (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8). A partir desta consideração, o cálculo do Centro de Gravidade (CG) está demonstrado a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Centro de Gravidade (CG)} &= (0,2 * 0,2) + (0,4 * 0,4) + (0,6 * 0,6) + (0,8 \\ &* 0,8) + (1 * 0,88) + (1,2 * 0,8) + (1,4 * 0,6) + (1,6 * 0,4) + (1,8 * 0,2) / 0,2 + 0,4 + 0,6 \\ &+ 0,8 + 0,88 + 0,8 + 0,6 + 0,4 + 0,2 = 1,00 \end{aligned}$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Defuzzificação, pode-se concluir que o Projeto 3 no cenário 4 possui um fator de ajuste de pulmão de tempo de 1,00.

Etapa 9: A partir do valor do Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) obtido, o pulmão de projeto foi calculado para o Projeto 3 no cenário 4, conforme fórmula apresentada no item 5.1 deste capítulo.

$$\text{Pulmão de Tempo} = \text{FAP} * \text{Raiz Quadrada} (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

### Projeto 3

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,00 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 8^2 + 6^2) = 14 \text{ dias}$$

### Etapa 8: Defuzzificação (Projeto 4)

O conjunto resultante para a operação de Defuzzificação do Projeto 4 está na Figura 5.89 que segue.

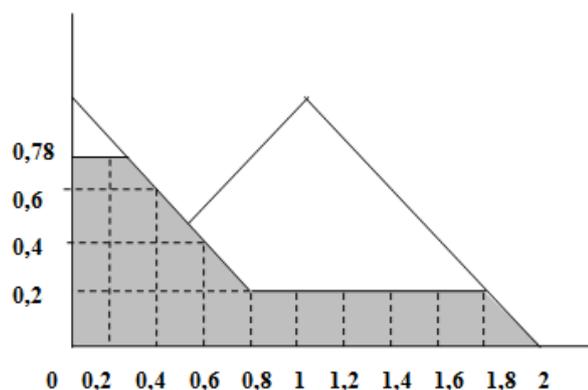


Figura 5.89: Conjunto Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) resultante da operação de Defuzzificação do Projeto 4 – Cenário 4

Para calcular o Centro de Gravidade (CG) do conjunto mostrado na Figura 5.89 foram considerados 9 pontos (0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8). A

partir desta consideração, o cálculo do Centro de Gravidade (CG) está demonstrado a seguir:

$$\text{Centro de Gravidade (CG)} = (0,2 * 0,78) + (0,4 * 0,6) + (0,6 * 0,4) + (0,8 * 0,2) + (1 * 0,2) + (1,2 * 0,2) + (1,4 * 0,2) + (1,6 * 0,2) + (1,8 * 0,2) / 0,78 + 0,6 + 0,4 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 = 0,74$$

Com base na aplicação da Lógica *Fuzzy* e no resultado do Método do Centro de Gravidade utilizado na Desfuzzificação, pode-se concluir que o Projeto 4 no cenário 4 possui um fator de ajuste de pulmão de tempo de 0,74.

Etapa 9: A partir do valor do Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) obtido, o pulmão de projeto foi calculado para o Projeto 4 no cenário 4, conforme fórmula apresentada no item 5.1 deste capítulo.

$$\text{Pulmão de Tempo} = \text{FAP} * \text{Raiz Quadrada} (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

#### Projeto 4

$$\text{Pulmão de Projeto} = 0,74 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 6^2 + 4^2) = 9 \text{ dias}$$

De acordo com os valores obtidos para o Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) o projeto 2 (FAP = 1,12) foi classificado como o projeto mais importante para a empresa. Em segundo lugar ficou o projeto 1 (FAP = 1,04). O terceiro e o quarto lugares em níveis de importância para a empresa foram ocupados respectivamente pelos projetos 3 (FAP = 1,00) e projeto 4 (FAP = 0,74).

#### **5.2.6. Aplicação do procedimento proposto no Cenário 5**

Para o cenário 5, como descrito anteriormente, foram consideradas apenas duas variáveis lingüísticas, Complexidade do Projeto e Escassez de Recursos, sendo seus valores os mesmos considerados para o cenários 4, ou seja, os valores das variáveis lingüísticas foram extraídos dos mesmos casos reais. Dessa forma foi necessário calcular o Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) para cada um dos

projetos. Os cálculos seguem as mesmas etapas apresentadas nas seções anteriores. A seguir, são apresentados apenas os valores do Pulmão de Projeto, resultantes da aplicação da Lógica *Fuzzy* que gerou o Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) para cada um dos projetos.

$$\text{Pulmão de Tempo} = \text{FAP} * \text{Raiz Quadrada} (U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2)$$

#### Projeto 1

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,12 * \text{RQ} (2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2) = 8,7 \text{ dias}$$

#### Projeto 2

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,12 * \text{RQ} (2^2 + 2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2 + 2^2) = 9,2 \text{ dias}$$

#### Projeto 3

$$\text{Pulmão de Projeto} = 1,12 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 8^2 + 6^2) = 15,6 \text{ dias}$$

#### Projeto 4

$$\text{Pulmão de Projeto} = 0,77 * \text{RQ} (4^2 + 4^2 + 8^2 + 6^2 + 4^2) = 9,4 \text{ dias}$$

Ao considerar apenas as duas variáveis lingüísticas, Complexidade do Projeto e Escassez de Recursos, o Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) para os projetos 1, 2 e 3 acabam sendo iguais a 1,12 e para o projeto 4, o valor do FAP é igual a 0,77. Dessa forma, no cenário 5, os projetos 1, 2 e 3 possuem o mesmo nível de importância para a empresa e o projeto 4, assim como classificado no cenário 4, acaba sendo o menos importante.

### **5.3. O plano da simulação**

Os métodos para cálculo de pulmões de tempo que foram simulados na rede de projetos apresentada anteriormente (Figura 5.17) foram seis: o Método Cortar e Colar (*C&PM*), o Método da Raiz Quadrada do Erro (*RSEM*), o Procedimento Adaptativo com Densidade (*APD*), o Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (*APRT*), o Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (*IRSEM*) e o Método Proposto (Cenários 1, 2, 3, 4 e 5).

As simulações realizadas neste trabalho foram feitas sobre os quatro projetos apresentados na Figura 4.17 do capítulo anterior. Para cada projeto foram geradas 100 replicações ou simulações, variando cada um dos métodos de cálculo de pulmão de tempo citados no parágrafo anterior. Como foram simulados cinco métodos considerados na literatura, mais o Método Proposto em cinco cenários, a execução de cada projeto foi realizada 1.000 vezes. Considerando os quatro projetos, foram realizadas no total 4.000 simulações. Cada simulação de um projeto representa a execução de suas atividades do início ao término.

Para realizar a simulação dos projetos com a aplicação dos métodos citados anteriormente, foi necessário estabelecer os tempos médios de cada uma das atividades da rede do projeto. Toda atividade tem um tempo estimado inicialmente. Com a aplicação do método da Corrente Crítica, cada uma destas durações estimadas inicialmente foi reduzida em 50%. Parte desse tempo reduzido de cada atividade foi deslocada para o pulmão de tempo, a qual varia de acordo com o método aplicado.

A Figura 5.86, a seguir, mostra um exemplo dos tempos de cada uma das atividades que foram deslocados para o pulmão de tempo.

Atividades da Corrente Crítica	Tempo estimado inicial	Tempo com redução de 50%	Tempo deslocado para o Pulmão
A	4	2	1
B	4	2	1
A	8	4	2
B	12	6	3

Figura 5.86: Tempos utilizados para a simulação

No exemplo mostrado na Figura 5.86, o método para cálculo de pulmão de tempo aplicado é o Cortar e Colar (*C&PM*). Como pode ser visto, 50% do tempo subtraído de cada atividade é deslocado para o pulmão de tempo. Com isso, a média utilizada para simular a realização da atividade é igual ao tempo com redução de 50% somado ao tempo deslocado para o pulmão. No caso da atividade “A” mostrada na primeira linha da Figura 5.86, sua média é igual a 3.

Com base nas médias estabelecidas e de acordo com cada um dos métodos para cálculo de pulmão utilizados, foram gerados números aleatórios. Para gerar os números aleatórios foi necessário, além da média de cada atividade, seu desvio

padrão. Para atividades com durações estimadas inicialmente menor que 4 dias, foi adotado um desvio padrão de 0,5 dia. E para atividades com durações estimadas inicialmente maior ou igual a 4 dias foi utilizado um desvio padrão de 1 dia. Esses valores são dados históricos da empresa estudada, conforme Campanini (2008).

Esses números aleatórios são os tempos, que representam a realização ou execução das atividades. Eles foram gerados por meio do Software “R”, que é um software de estatística disponível gratuitamente na internet e indicado por especialistas da área. Os tempos foram gerados seguindo uma distribuição de probabilidade Lognormal, que também é indicada por alguns autores (citado anteriormente na seção 4.4 deste trabalho) como sendo a mais apropriada para representar execução de atividades ou tarefas. O outro software utilizado para a realização das simulações, além dos monitoramentos e controles, foi o “Excel” que é integrante do Pacote Office da Microsoft.

O cálculo dos valores da média e desvio padrão realizado para gerar os números aleatórios, seguindo uma distribuição Lognormal e de acordo com os parâmetros de Law e Kelton (2000), está demonstrado nos anexos deste trabalho.

O gráfico de controle utilizado nas simulações para monitoramento e tomada de ações durante a realização dos projetos foi o mesmo gráfico apresentado na Figura 4.19 da seção 4.7 do capítulo anterior. Conforme mencionado anteriormente, este gráfico de controle é considerado “típico” de acordo com Leach (2004).

As etapas que seguem na Figura 5.87 foram executadas em todas as simulações.

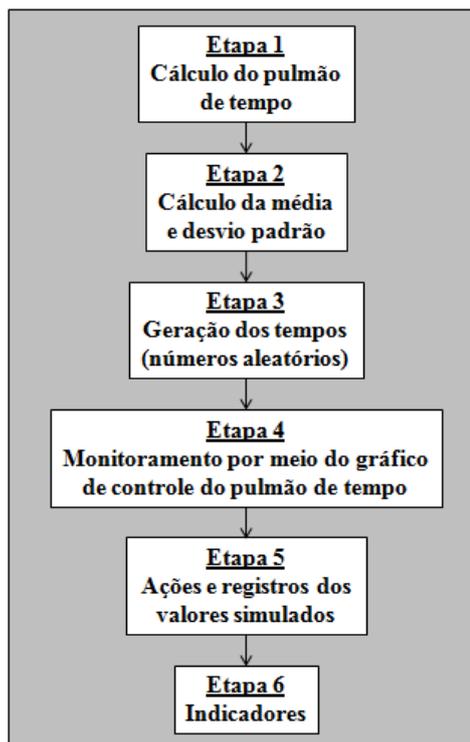


Figura 5.87: Etapas realizadas nas simulações

Na Etapa 1, apresentada na Figura 5.87, foi calculado o pulmão de projeto para cada um dos quatro projetos apresentados na Figura 4.17 do capítulo anterior. Cada projeto teve seu pulmão de projeto dimensionado de acordo com cada um dos cinco métodos considerados na literatura deste trabalho, mais o método proposto aplicado em cinco cenários, ou seja, o pulmão de cada projeto foi calculado dez vezes para cada um dos projetos da rede considerada.

Com os pulmões de tempo dimensionados, foi estabelecido o tempo com o qual cada atividade contribuiu para formação dos pulmões e a partir daí, na Etapa 2, foram calculadas as médias e os desvios padrão. Estes cálculos estão demonstrados com maiores detalhes nos anexos deste trabalho.

Os valores das médias e dos desvios padrão são utilizados na Etapa 3 para gerar os tempos de realização das atividades. Estes tempos são representados por meio dos números aleatórios gerados no software “R”.

Os tempos gerados, seguindo uma distribuição Lognormal, foram plotados e monitorados periodicamente no gráfico de controle de pulmão de tempo na Etapa 4. Neste trabalho o pulmão monitorado e controlado foi o pulmão de projeto.

Na Etapa 5 ocorrem os registros do monitoramento do gráfico de controle do pulmão de tempo, que neste trabalho foi o pulmão de projeto. A ação

definida para recuperação dos atrasos identificados no gráfico foi a realização de horas extras. Por exemplo, se no período de monitoramento número 4 for identificado um atraso por meio de um ponto plotado na região de cor vermelha do gráfico de controle de pulmão de tempo, conforme Figura 5.88, no período seguinte, de número 5, são executadas horas extras para que recuperem ou reduzam o atraso identificado no período anterior.

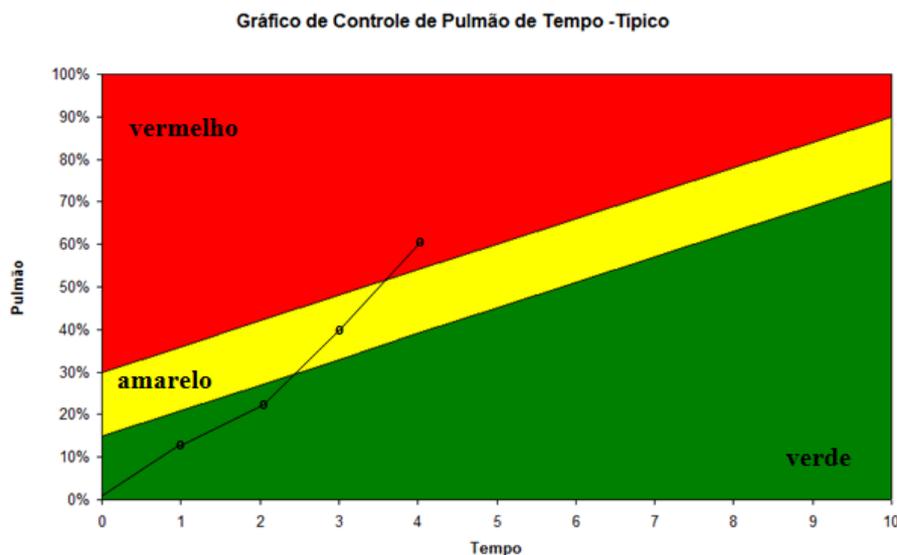


Figura 5.88: Monitoramento do gráfico de controle de pulmão de tempo

A quantidade de horas extras estabelecida para recuperação dos projetos simulados foi limitada ao valor de 2% do resultado da soma da duração da Corrente Crítica do projeto com a duração do tamanho do seu pulmão de projeto. Por exemplo, para um projeto com Corrente Crítica de 14 dias e pulmão de projeto de 7 dias, a quantidade máxima de horas extras permitidas na recuperação de um determinado atraso será 2% de 21 dias, ou seja, 10,08 horas extras (considerando trabalho em 3 turnos ou 24 horas trabalhadas por dia).

Alguns indicadores foram estabelecidos para que, na Etapa 6, os resultados obtidos nas simulações pudessem ser comparados. Tais indicadores estão relacionados abaixo:

- 1 – Corrente Crítica + Pulmão de Projeto;
- 2 – Maior *lead time*;
- 3 – Maior tempo de estouro do pulmão;
- 4 – Tempo médio de estouro do pulmão;

- 5 – Número de vezes que o pulmão foi estourado;
- 6 – Maior número de horas extras trabalhadas;
- 7 – Média das horas extras trabalhadas.

Os indicadores 1 e 2 estão relacionados com a duração do projeto. O indicador 1 “Corrente Crítica + Pulmão de Projeto” mostra o tempo estimado inicialmente para término do projeto e o indicador 2 “Maior *lead time*” indica a maior duração que o projeto teve nas simulações.

Os indicadores 3, 4 e 5 se referem ao não cumprimento do prazo do projeto estimado inicialmente. O indicador de número 3 “Maior tempo de estouro do pulmão” apresenta o resultado da simulação que obteve a maior duração acima da data estimada para o término do projeto. O indicador de número 4 “Tempo médio de estouro do pulmão” mostra, dentre as simulações que ultrapassaram a data de término do projeto, qual foi sua duração média e, o indicador 5 “Número de vezes que o pulmão foi estourado” indica a quantidade de simulações que ultrapassaram a data de término prevista para o projeto.

Por fim, os indicadores 6 e 7 estão vinculados à quantidade de horas extras realizadas no projeto para recuperação de atrasos. O indicador 6 “Maior número de horas extras trabalhadas” mostra o resultado da simulação do projeto que mais realizou horas extras para recuperação de atrasos. E o indicador 7 “Média das horas extras trabalhadas” contabiliza o valor médio das horas extras realizadas nas simulações de um projeto.

## **6. Análise dos Resultados**

Neste capítulo estão os resultados das simulações realizadas com os cinco métodos para cálculo de pulmão de tempo considerados na literatura pesquisada, bem como a simulação do método proposto. As simulações consideram os quatro projetos apresentados anteriormente, nos cinco cenários também apresentados anteriormente. Foram estabelecidos indicadores de forma a permitir uma comparação entre os resultados. Tais resultados foram resumidos nas seções que seguem.

### **6.1. Resultados das simulações relativas ao Projeto 1**

Os quatro projetos considerados neste estudo tiveram classificações diferenciadas para a aplicação do Método Proposto nos Cenários 4 e 5. Para a aplicação dos demais métodos, os quatro projetos foram classificados com o mesmo nível de importância para a empresa estudada. Nos Cenários 4 e 5, foram considerados como exemplo, projetos que fazem parte da carteira da empresa, ou seja, os valores para as variáveis lingüísticas foram diferentes. Dessa forma, cada projeto foi classificado com um nível de importância para a empresa, conforme mostrado anteriormente na seção 5.2.1 do capítulo anterior.

A Figura 6.1 apresenta os resultados das simulações realizadas no Projeto 1 com os métodos publicados na literatura e o método proposto nos Cenários 4 e 5. O Projeto 1, de acordo com a classificação obtida no Cenário 4, ficou em segundo lugar em nível de importância para a empresa estudada e no Cenário 5, foi classificado como o mais importante juntamente com os projetos 2 e 3.

Projeto 1		Indicadores								
		Corrente Crítica (CC) + Pulmão de Projeto (PP) = Total (T) (dias)			Maior Lead Time (dias)	Maior tempo de estouro do pulmão (dias)	Tempo médio de estouro do pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi estourado	Maior nº de horas extras trabalhadas (hs)	Média das horas extras trabalhadas (hs)
		CC	PP	T						
1	Método Cortar e Colar (C&PM)	7,0	21,0	23,3	2,3	0,75	23,0	40,3	18,9	
2	Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)	7,8	21,8	23,9	2,2	0,88	20,0	41,8	15,7	
3	Procedimento Adaptativo com Densidade (APD)	14,4	28,4	24,6	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	
4	Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT)	10,2	24,2	24,3	0,1	0,00	1,0	27,5	2,6	
5	Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (IRSEM)	3,8	17,8	22,9	5,1	2,12	91,0	42,7	30,2	
6(C4)	Método Proposto Cenário 4	8,1	22,1	23,6	1,5	0,75	17,0	42,4	14,4	
6(C5)	Método Proposto Cenário 5	8,7	22,7	24,0	1,3	0,54	12,0	43,6	10,3	
	Menor valor	3,8	17,8	22,9	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	
	Maior valor	14,4	28,4	24,6	5,1	2,12	91,0	43,6	30,2	
	Média	8,6	22,6	23,8	1,8	0,72	23,4	34,0	13,2	

Figura 6.1: Resultados das simulações do Projeto 1

Como pode ser observado na Figura 6.1, o indicador “Corrente Crítica (CC) + Pulmão de Projeto (PP)” mostra que cada um dos métodos simulados dimensionou pulmões de tempo com tamanhos variados para o Projeto 1, ou seja, com a aplicação de cada método foram geradas estimativas diferentes para a realização deste projeto. Em termos de tamanho de Pulmão de Projeto (PP), as aplicações do Método Proposto no Cenário 4 (PP = 8,1 dias) e do Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM) (PP = 7,8 dias), foram as que mais se aproximaram do Método Cortar & Colar (C&PM) (PP = 7 dias) originário da Corrente Crítica.

Para valores referentes à recuperação de atrasos identificados ao longo do Projeto 1, representados por meio do indicador “Média das horas extras trabalhadas”, o resultado com a aplicação do Método Proposto no Cenário 4 (14,4 horas), ficou abaixo dos valores realizados com a aplicação dos métodos citados no parágrafo anterior (Método Cortar & Colar (C&PM) igual a 18,9 horas e Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM) no valor de 15,7 horas).

Outro indicador importante a ser considerado na análise do Método Proposto aplicado no Cenário 4 para o Projeto 1, e que se sobressaiu perante os outros métodos é o “Número de vezes que o pulmão foi estourado”. Com a aplicação do Método Proposto no Cenário 4 (17 vezes) este indicador se mostrou superior quando comparado aos métodos que dimensionaram pulmão de projeto com valores por volta de 8 dias (Método Cortar & Colar (C&PM) igual a 23 vezes e Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM) no valor de 20 vezes).

Os estouros só foram mínimos para o Procedimento Adaptativo com Densidade (*APD*), com nenhum estouro, e para o Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (*APRT*) com 1 estouro, ou seja, para os métodos com pulmões de tempo maiores ou próximos do valor da duração da Corrente Crítica (*CC*). É importante ressaltar que projetos com pulmões de tempo maiores podem reduzir a competitividade de um projeto, por exemplo, em sua fase de orçamento. Portanto, o pulmão de tempo deve ser “grande” o suficiente para proteger a data de término do projeto, mas não tão “grande” a ponto de aumentar muito sua duração estimada e atrapalhar sua venda.

Ao comparar os valores do “Pulmão de Projeto” (*PP*) resultantes da aplicação do Método Proposto no Cenário 5 (8,7 dias) com os valores do Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (*RSEM*) (3,8 dias), do Procedimento Adaptativo com Densidade (*APD*) (14,4 dias) e do Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (*APRT*) (10,2 dias), que são métodos que consideram as variáveis Complexidade do Projeto e Escassez de Recursos, pode-se notar que o Método Proposto apresenta resultado mais próximo do originário da Corrente Crítica, Método Cortar & Colar (*C&PM*) no valor de 7 dias.

## 6.2. Resultados das simulações relativas ao Projeto 2

O Projeto 2, classificado como o de maior importância para a empresa estudada tanto para o Cenário 4 quanto para o Cenário 5, tem seus valores resultantes das simulações apresentados na Figura 6.2.

Projeto 2		Indicadores								
		Corrente Crítica ( <i>CC</i> ) + Pulmão de Projeto ( <i>PP</i> ) = Total ( <i>T</i> ) (dias)			Maior Lead Time (dias)	Maior tempo de estouro do pulmão (dias)	Tempo médio de estouro do pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi estourado	Maior nº de horas extras trabalhadas (hs)	Média das horas extras trabalhadas (hs)
		<i>CC</i>	<i>PP</i>	<i>T</i>						
1	Método Cortar e Colar ( <i>C&amp;PM</i> )	9,0	27,0	31,0	4,0	1,05	24,0	49,0	14,9	
2	Método da Raiz Quadrada do Erro ( <i>RSEM</i> )	8,2	26,2	30,4	4,2	1,00	45,0	50,3	20,5	
3	Procedimento Adaptativo com Densidade ( <i>APD</i> )	16,2	34,2	32,2	0,0	0,00	0,0	3,6	0,0	
4	Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso ( <i>APRT</i> )	10,3	28,3	31,4	3,1	0,94	9,0	40,8	8,4	
5	Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro ( <i>IRSEM</i> )	4,2	22,2	29,7	7,5	3,02	98,0	74,6	40,2	
6(C4)	Método Proposto Cenário 4	9,2	27,2	30,8	3,6	1,01	21,0	46,1	13,2	
6(C5)	Método Proposto Cenário 5	9,2	27,2	31,1	3,9	0,99	22,0	52,2	13,6	
	Menor valor	4,2	22,2	29,7	0,0	0,00	0,0	3,6	0,0	
	Maior valor	16,2	34,2	32,2	7,5	3,02	98,0	74,6	40,2	
	Média	9,5	27,5	30,9	3,7	1,14	31,3	45,2	15,8	

Figura 6.2: Resultados das simulações do Projeto 2

As observações relatadas para o Projeto 1, na seção anterior deste capítulo, também podem ser constatadas com a aplicação do Método Proposto no Cenário 4 para o Projeto 2. Como podem ser observados os valores dos indicadores “Média das horas extras trabalhadas” e “Número de vezes que o pulmão foi estourado” apresentam comportamento parecido com os descritos da sua aplicação no Projeto 1.

O Método Proposto quando aplicado nos Cenários 4 e 5, que considera exemplo de projetos presentes na carteira da empresa estudada, apresenta tamanho de “Pulmão de Projeto” (PP) igual a 9,2 dias para ambos os Cenários. Este valor se mostra equivalente quando comparado aos 9 dias resultantes da aplicação do Método Cortar & Colar (*C&PM*). Os valores relacionados aos indicadores “Número de vezes que o pulmão foi estourado” e “Média das horas extras trabalhadas” apresentam resultados menores com a aplicação do Método Proposto no Cenário 4 do que quando se aplica o método originário da Corrente Crítica.

Outro ponto importante a ser observado na Figura 6.2, se refere ao Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (*IRSEM*) que proporcionou o menor “Pulmão de Projeto” (PP) no valor de 4,2 dias. Com este tamanho de pulmão o projeto se torna mais competitivo, em termos de estimativa de prazo, mas em contrapartida, o indicador “Número de vezes que o pulmão foi estourado” atinge 98% dos casos simulados, além da “Média das horas extras trabalhadas” de 40,2 horas, ter sido o maior valor registrado. As multas dos projetos da empresa estudada geralmente são altas, portanto quanto maiores forem os estouros e os atrasos, maiores serão os custos do projeto.

### **6.3. Resultados das simulações relativas ao Projeto 3**

A Figura 6.3, apresenta os resultados das simulações realizadas para o Projeto 3. Este projeto, de acordo com os valores do Fator de Ajuste do Pulmão de Tempo (FAP) calculados no Cenário 4, foi classificado como terceiro lugar em nível de importância para a empresa estudada.

Projeto 3		Indicadores								
		Corrente Crítica (CC) + Pulmão de Projeto (PP) = Total (T) (dias)			Maior Lead Time (dias)	Maior tempo de estouro do pulmão (dias)	Tempo médio de estouro do pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi estourado	Maior nº de horas extras trabalhadas (hs)	Média das horas extras trabalhadas (hs)
		CC	PP	T						
1	Método Cortar e Colar (C&PM)	15,0	45,0	48,4	3,4	0,96	17,0	64,8	31,8	
2	Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)	14,0	44,0	47,5	3,5	1,25	33,0	63,4	39,6	
3	Procedimento Adaptativo com Densidade (APD)	27,5	57,5	51,1	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	
4	Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT)	18,9	48,9	48,7	0,0	0,00	0,0	56,3	8,7	
5	Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (IRSEM)	4,9	34,9	47,6	12,7	7,31	100,0	83,8	61,5	
6(C4)	Método Proposto Cenário 4	14,0	44,0	46,2	2,2	0,95	28,0	63,4	36,7	
6(C5)	Método Proposto Cenário 5	15,6	45,6	46,6	1,0	0,34	18,0	65,7	27,6	
	Menor valor	4,9	34,9	46,2	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	
	Maior valor	27,5	57,5	51,1	12,7	7,31	100,0	83,8	61,5	
	Média	15,7	45,7	48,0	3,3	1,55	28,0	56,7	29,4	

Figura 6.3: Resultados das simulações do Projeto 3

Um ponto importante a ser considerado a respeito do Método Proposto é o fato dele mensurar a importância do projeto. Como pode ser observado na Figura 6.3, alguns indicadores tiveram resultados inferiores com a aplicação do Método Proposto no Cenário 4 quando comparados com os resultados da aplicação do Método Cortar e Colar (*C&PM*), originário da Teoria da Corrente Crítica.

O indicador “Número de vezes que o pulmão foi estourado” registrou 28 estouros com as simulações relativas ao Método Proposto no Cenário 4 enquanto que, quando se aplicou o Método Cortar & Colar (*C&PM*), foram registrados 17 estouros. A “Média das horas extras trabalhadas” também ficou maior com a aplicação do Método Proposto no Cenário 4, 36,7 horas contra 31,8 horas com a aplicação do Método Cortar e Colar (*C&PM*). Isso ocorreu em função do Projeto 3 ter sido classificado com uma importância inferior aos projetos 2 e 1.

O fato do Método Proposto, considerar aspectos de origem financeira e aspectos relacionados ao cliente, no dimensionamento dos pulmões de tempo dos projetos, como observado nos resultados apresentados, pode influenciar e até mesmo contribuir conforme a importância de cada projeto.

#### 6.4. Resultados das simulações relativas ao Projeto 4

O Projeto 4, de menor importância para empresa, dentre os que foram escolhidos para compor o Cenário 4 e 5, tem seus resultados apresentados na Figura 6.4.

Projeto 4		Indicadores								
		Corrente Crítica (CC) + Pulmão de Projeto (PP) = Total (T) (dias)			Maior Lead Time (dias)	Maior tempo de estouro do pulmão (dias)	Tempo médio de estouro do pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi estourado	Maior nº de horas extras trabalhadas (hs)	Média das horas extras trabalhadas (hs)
		CC	PP	T						
1	Método Cortar e Colar (C&PM)	26,0	13,0	39,0	45,8	6,8	1,96	63,0	74,9	45,6
2	Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)		12,2	38,2	45,6	7,4	2,49	72,0	73,3	46,5
3	Procedimento Adaptativo com Densidade (APD)		23,9	49,9	47,5	0,0	0,00	0,0	14,8	0,1
4	Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT)		16,6	42,6	46,4	3,8	1,08	16,0	61,3	21,3
5	Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (IRSEM)		4,9	30,9	44,3	13,4	8,18	100,0	74,2	63,0
6(C4)	Método Proposto Cenário 4		9,0	35,0	45,3	10,3	4,35	99,0	67,2	58,4
6(C5)	Método Proposto Cenário 5		9,4	35,4	46,2	10,8	4,05	97,0	68,0	57,8
	Menor valor		4,9	30,9	44,3	0,0	0,00	0,0	14,8	0,1
	Maior valor		23,9	49,9	47,5	13,4	8,18	100,0	74,9	63,0
	Média		12,7	38,7	45,9	7,5	3,16	63,9	62,0	41,8

Figura 6.4: Resultados das simulações do Projeto 4

Ao observar os resultados na Figura 6.4, podemos concluir que o Método Proposto aplicado aos Cenário 4 e 5, levou em consideração a importância do Projeto 4. Conforme citado anteriormente, dentre os quatro projetos considerados para estes cenários, o Projeto 4 apresentou menor importância para a empresa. Isso pode ser notado por meio de alguns indicadores deste projeto que ficaram acima da média, como por exemplo, a “Média das horas extras trabalhadas” e o “Número de vezes que o pulmão foi estourado”.

Outra evidência é mostrada pelo tamanho do Pulmão de Projeto (PP) que tanto com a aplicação do Método Proposto no Cenário 4 (9 dias) quanto com a aplicação do Método Proposto no Cenário 5 (9,4 dias), ficaram abaixo de 13 dias, que foi o valor estimado com a aplicação do Método Cortar e Colar (C&PM), originário da teoria da Corrente Crítica.

Um ponto importante a ser considerado perante os resultados relacionados aos indicadores de recuperação de atrasos (horas extras) é a limitação de capacidade para recuperação dos atrasos. Portanto quanto menor forem os atrasos, mais facilmente eles poderão ser recuperados e menos custos extras para o projeto serão acrescidos.

## 6.5. Resultados das simulações dos Métodos no ambiente de Projetos

Nesta seção, as análises foram realizadas no ambiente estudado, ou seja, as aplicações dos métodos foram analisadas no ambiente considerando os quatro projetos. A principal análise individualizada relativa ao método para dimensionamento do pulmão de tempo aplicada ao ambiente de múltiplos projetos, se refere à aplicação do Método Proposto ao Cenário 4, pois, neste cenário cada projeto possui uma classificação diferente e conseqüentemente um nível de importância para a empresa estudada.

A Figura 6.5 apresenta os resultados do Método Proposto Cenário 4 aplicado ao ambiente com os quatro projetos do estudo de caso.

Método Proposto Cenário 4	Indicadores								
	Corrente Crítica (CC) + Pulmão de Projeto (PP) = Total (T) (dias)			Maior Lead Time (dias)	Maior tempo de estouro do pulmão (dias)	Tempo médio de estouro do pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi estourado	Maior nº de horas extras trabalhadas (hs)	Média das horas extras trabalhadas (hs)
	CC	PP	T						
Projeto 1	14,0	8,1	22,1	23,6	1,5	0,75	17,0	42,4	14,4
Projeto 2	18,0	9,2	27,2	30,8	3,6	1,01	21,0	46,1	13,2
Projeto 3	30,0	14,0	44,0	46,2	2,2	0,95	28,0	63,4	36,7
Projeto 4	26,0	9,0	35,0	45,3	10,3	4,35	99,0	67,2	58,4
Total	88,0	40,3	128,3	146,0	17,7	7,06	165,0	219,1	122,7
Média	22,0	10,1	32,1	36,5	4,4	1,76	41,3	54,8	30,7

Figura 6.5: Resultados das simulações do Método Proposto Cenário 4

Os projetos apresentados na Figura 6.5 são considerados como exemplo por pertencerem à carteira de pedidos da empresa estudada. Com a aplicação do Método Proposto no Cenário 4, o projeto que apresentou maior Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP), resultante da aplicação da Lógica *Fuzzy*, conforme demonstrado no capítulo 5, foi o Projeto 2. O segundo projeto classificado com o maior FAP foi o Projeto 1, em terceiro ficou o Projeto 3 e por fim o Projeto 4, ou seja, dentre os projetos selecionados, o Projeto 2 se destacou como sendo o mais importante para a empresa estudada.

Os reflexos dessa classificação podem ser observados nos valores resultantes da aplicação do Método Proposto no Cenário 4 referentes, por exemplo, ao indicador “Média das horas extras trabalhadas” que representa custos para o projeto. A ordem crescente das médias das horas extras realizadas para recuperação dos atrasos nos projetos selecionados repete a ordem da classificação entre eles, ou seja, o Projeto 2, de

maior importância para a empresa realizou a menor média, 13,2 horas extras. A segunda menor média foi de 14,4 horas extras e ela se refere ao Projeto 1, que foi o segundo colocado na classificação. A terceira média, no valor de 36,7 horas extras, foi realizada no Projeto 3 e a maior média de 58,4 horas extras, foi realizada no Projeto 4, de menor importância para a empresa estudada.

Pode-se interpretar que o Método Proposto, por considerar aspectos financeiros e importância do cliente como fatores adicionais na classificação ou avaliação de projetos, apresenta melhores resultados para projetos com importância maior para a empresa. Isso pôde ser observado por meio dos indicadores relacionados aos custos adicionais de um projeto, como por exemplo, o número de vezes que o pulmão estourou e horas extras realizadas. Na Figura 6.5 esses indicadores para o Projeto 2, de maior importância, ficaram consideravelmente abaixo quando comparados aos do Projeto 4 de importância menor para a empresa.

A Figura 6.6, a seguir, apresenta os resultados totais dos métodos considerados neste trabalho, aplicados no ambiente de múltiplos projetos. Cada linha da Figura 6.6 representa os valores da soma dos resultados dos quatro projetos simulados no ambiente estudado com a aplicação de um determinado método utilizado para dimensionamento de pulmão de tempo. Por exemplo, na primeira linha estão os resultados da aplicação do Método Cortar e Colar (*C&PM*) aplicado aos quatro projetos. O valor de 88 dias para a Corrente Crítica (CC) equivale a soma das Correntes Críticas dos quatro projetos e o valor do Pulmão de Projeto (PP) é igual à soma dos tempos dos pulmões de projeto de cada projeto considerado neste ambiente.

Total Geral	Indicadores								
	Corrente Crítica (CC) + Pulmão de Projeto (PP) = Total (T) (dias)			Maior Lead Time (dias)	Maior tempo de estouro do pulmão (dias)	Tempo médio de estouro do pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi estourado	Maior nº de horas extras trabalhadas (hs)	Média das horas extras trabalhadas (hs)
	CC	PP	T						
Método Cortar e Colar (C&PM)	88,0	44,0	132,0	148,3	16,3	4,71	127,0	229,0	111,2
Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)	88,0	42,2	130,2	149,4	19,2	5,59	162,0	228,8	123,7
Procedimento Adaptativo com Densidade (APD)	88,0	82,0	170,0	155,4	0,0	0,00	0,0	18,5	0,2
Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT)	88,0	56,0	144,0	149,5	6,2	1,99	24,0	184,1	40,1
Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (IRSEM)	88,0	17,8	105,8	145,3	39,5	20,61	390,0	275,2	195,0
Método Proposto Cenário 4	88,0	40,3	128,3	146,0	17,7	7,06	165,0	219,1	122,7
Método Proposto Cenário 5	88,0	42,9	130,9	147,9	17,0	5,93	149,0	229,4	109,3

Figura 6.6: Resultado da aplicação dos Métodos: Total Geral

O tempo Total (CC) + (PP) resultante da aplicação do Método Proposto no Cenário 4, no valor de 128,3 dias, que representa a soma dos tempos estimados para execução dos projetos considerados no ambiente estudado, foi o segundo menor tempo estimado para o ambiente de múltiplos projetos e ficando abaixo do tempo estimado com a aplicação do Método Cortar e Colar (*C&PM*) originado da Corrente Crítica.

Com relação ao indicador “Maior Lead Time”, representado por meio da soma do tempo previsto Total (T) com o “Maior tempo de estouro do pulmão”, o resultado do Método Proposto aplicado no Cenário 4, de 146 dias, ficou bem próximo ao resultado do método originado da Corrente Crítica, Cortar e Colar (*C&PM*).

A Figura 6.7 que segue apresenta a média geral para cada um dos métodos aplicados para dimensionamento de pulmão de tempo no ambiente estudado considerando os quatro projetos.

Média Geral	Indicadores								
	Corrente Crítica (CC) + Pulmão de Projeto (PP) = Total (T) (dias)			Maior Lead Time (dias)	Maior tempo de estouro do pulmão (dias)	Tempo médio de estouro do pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi estourado	Maior nº de horas extras trabalhadas (hs)	Média das horas extras trabalhadas (hs)
	CC	PP	T						
Método Cortar e Colar (C&PM)	22,0	11,0	33,0	37,1	4,1	1,18	31,8	57,2	27,8
Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)	22,0	10,6	32,6	37,3	4,8	1,40	40,5	57,2	30,9
Procedimento Adaptativo com Densidade (APD)	22,0	20,5	42,5	38,9	0,0	0,00	0,0	4,6	0,0
Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT)	22,0	14,0	36,0	37,4	1,6	0,50	6,0	46,0	10,0
Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (IRSEM)	22,0	4,5	26,5	36,3	9,9	5,15	97,5	68,8	48,7
Método Proposto Cenário 4	22,0	10,1	32,1	36,5	4,4	1,76	41,3	54,8	30,7
Método Proposto Cenário 5	22,0	10,7	32,7	37,0	4,3	1,48	37,3	57,4	27,3

Figura 6.7: Resultado da aplicação dos Métodos: Média Geral

Os valores médios apresentados na Figura 6.7 refletem os comentários feitos anteriormente. Os métodos que proporcionaram Pulmões de Projeto (PP) menores acabam sendo mais competitivos, por exemplo, em fases de concorrência, pois, apresentam menor tempo estimado para execução de um projeto. Isso pode ser observado pelo tempo médio de Pulmão de Tempo (PP) de 4,5 dias, proporcionado com a aplicação do Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (*IRSEM*).

Em contrapartida esses métodos demonstraram maior tendência para custos elevados, ou seja, estouro do prazo previsto representado por meio do indicador “Número de vezes que o pulmão foi estourado” e execução de mais horas extras, como forma de recuperar tais atrasos. Essa situação pode ser representada também com os valores resultantes da aplicação do Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro

(*IRSEM*), ou seja, na média, a aplicação deste método causou o estouro do pulmão de projeto em 97,5 % das simulações.

O inverso acontece para os métodos que acabam não tendo custos com estouros do prazo previsto e horas extras, mas proporcionam tamanhos de Pulmões de Projeto (PP) que quase duplicam a duração estimada para as atividades, como por exemplo, o Procedimento Adaptativo com Densidade (*APD*) com valor médio para a Corrente Crítica (CC) de 22 dias e valor médio para Pulmão de Projeto (PP) de 20,5 dias. Como pode ser observado na Figura 6.8, o valor médio para o Pulmão de Projeto (PP) resultante do Método Cortar e Colar (*C&PM*), originado da Corrente Crítica, foi de 11 dias, quase metade do tamanho dimensionado com a aplicação do Procedimento Adaptativo com Densidade (*APD*).

O Método Proposto nos Cenários 4 e 5, ainda conforme valores mostrados na Figura 6.7, apresentou tempo médio de Pulmão de Projeto (PP) no valor de 10,1 dias para o Cenário 4 e 10,7 dias para o Cenário 5 ficando abaixo dos valores médios resultantes com a aplicação dos Métodos Cortar e Colar (*C&PM*) no valor de 11 dias e Raiz Quadrada do Erro (*RSEM*) no valor de 10,6 dias. Os custos com a aplicação do Método Proposto no Cenário 4 foram equivalentes aos do Método da Raiz Quadrada do Erro (*RSEM*) e os custos com a aplicação do Método Proposto no Cenário 5 foram equivalentes aos do Método Cortar e Colar (*C&PM*), representados por meio dos indicadores “Número de vezes que o pulmão foi estourado” e “Média das horas extras trabalhadas”

Dessa forma, pode-se concluir, que o Método Proposto aplicado ao ambiente de múltiplos projetos estudado neste trabalho apresentou, de modo geral, resultados favoráveis conforme comparações descritas anteriormente. O fato de considerar outros aspectos para o dimensionamento de pulmão de tempo, como multa contratual, margem de lucro e importância do cliente, além da complexidade do projeto e escassez de recursos, que já eram considerados por outros métodos existentes na literatura, pôde ser considerado favorável para os resultados destes quatro projetos que foram simulados.

## 7. Considerações Finais

A proposta de um novo método para cálculo de pulmão de tempo que considere aspectos ou fatores adicionais vinculados aos projetos, além dos já publicados na literatura (complexidade do projeto e escassez de recurso), pode ser útil para empresas que trabalham com projetos que possuem certas especificidades que precisam ser consideradas ou influenciam sua importância e conseqüentemente seus pulmões de tempo.

O Método Proposto neste trabalho utiliza a Lógica *Fuzzy* para calcular um Fator de Ajuste de Pulmão de Tempo (FAP) que permite considerar outros aspectos ou fatores de projetos que influenciam sua importância e necessitam de um pulmão de tempo diferenciado quando geridos por meio da Corrente Crítica. Os aspectos adicionais considerados nos projetos simulados nesta tese, além dos já considerados por outros métodos disponíveis na literatura foram: multa contratual, margem de lucro e importância do cliente.

Os dois primeiros, multa contratual e margem de lucro, possuem aspectos financeiros, os quais são muito importantes para o caso estudado, já que a empresa trabalha com pedidos sob encomenda. Por se tratar de grandes projetos, a importância do cliente também se torna um fator importante a ser considerado na execução dos contratos.

Conforme o conteúdo apresentado neste trabalho entende-se que o objetivo principal desta tese, de propor um novo método para cálculo de pulmão de tempo utilizando a Lógica *Fuzzy*, foi alcançado.

Para se chegar à proposta para cálculo de pulmão de tempo, foram considerados cinco métodos existentes na literatura para servirem de referência na comparação dos resultados. Tais métodos foram:

- Método Cortar e Colar (*C&PM*);
- Método da Raiz Quadrada do Erro (*RSEM*);
- Procedimento Adaptativo com Densidade (*APD*);
- Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (*APRT*);
- Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (*IRSEM*).

Cada um dos métodos aqui relacionado foi exemplificado numericamente para facilitar sua compreensão quanto às especificidades consideradas

no dimensionamento de pulmão de tempo de cada um deles. Com isso, entende-se que o primeiro objetivo específico, de exemplificar numericamente os principais métodos para dimensionamento de pulmão de tempo existentes na literatura, foi cumprido.

Entende-se também que o segundo objetivo específico foi alcançado com a aplicação do método proposto em cinco cenários. Para o Cenário 1 foram considerados valores baixos para os termos lingüísticos das cinco variáveis lingüísticas, representadas por meio da multa contratual, margem de lucro, importância do cliente, complexidade do projeto e escassez de recurso. Para o Cenário 2 foram considerados valores medianos para os termos lingüísticos de todas as variáveis lingüísticas. Para o Cenário 3 foram considerados valores altos para os termos lingüísticos de todas as variáveis lingüísticas e para os Cenários 4 e 5, foram considerados como exemplo, projetos pertencentes à carteira da empresa estudada.

Para cada um dos métodos existentes na literatura, Método Cortar e Colar (*C&PM*), Método da Raiz Quadrada do Erro (*RSEM*), Procedimento Adaptativo com Densidade (*APD*), Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (*APRT*), Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (*IRSEM*) e para o Método Proposto aplicado aos cinco cenários, foram simuladas as realizações dos projetos. Para cada um dos projetos foram realizadas 100 simulações considerando cada um dos métodos, totalizando 4.000 simulações, alcançando assim o entendimento da realização do terceiro objetivo específico.

O cumprimento do quarto objetivo específico pode ser considerado que foi realizado com as comparações relatadas no capítulo anterior, chamado Análise dos Resultados. Após terem sido feitas as comparações pode-se concluir que, de modo geral, o Método Proposto apresentou resultados favoráveis tanto quando se comparou seus resultados nos projetos individualmente, e também quando foi comparado no ambiente de múltiplos projetos. Um ponto positivo para o Método Proposto, que também pode ser considerado como um diferencial é a possibilidade de considerar um maior número de aspectos específicos relacionados ao projeto.

É importante destacar uma limitação do trabalho quanto a não realização da simulação integrada. Em função da ferramenta de simulação utilizada (Software Excel), a simulação ou realização dos projetos foi feita individualmente, ou seja, foram consideradas as respectivas programações de cada projeto só que eles não foram simulados simultaneamente.

A Figura 7.1 apresenta um comparativo resumido entre os resultados dos Métodos existentes na literatura com os resultados no Método Proposto aplicado ao Cenário 4, nos quatro projetos. Os quatro projetos estão dispostos nas linhas e nas colunas estão alguns indicadores. O “Total (T) – Previsto” representa a soma dos tempos da Corrente Crítica (CC) com o Pulmão de Projeto (PP), ou seja, é o tempo total previsto para a realização de cada projeto.

A “Menor multa média” mostra os Métodos que tiveram o menor estouro médio de Pulmão de Projeto e conseqüentemente as menores multas. O indicador “Menos estouros” representa os Métodos que proporcionaram as menores quantidades de estouros de Pulmão de Projeto e o indicador “Menos horas extras” contempla os Métodos que obtiveram as menores médias relativas à realização de horas extras para recuperação de prazos.

Comparativo C4	Total (T) - Previsto	Menor multa média	Menos estouros	Menos horas extras
Projeto 1	1 e 2	6(C4) e 1	6(C4) e 2	6(C4) e 2
Projeto 2	1 e 6(C4)	4 e 6(C4)	4 e 6(C4)	4 e 6(C4)
Projeto 3	6(C4) e 2	6(C4) e 1	1 e 6(C4)	1 e 6(C4)
Projeto 4	6(C4) e 2	1 e 2	1 e 2	1 e 2

Figura 7.1: Resultado da aplicação dos Métodos: comparativo com o Cenário 4

Como pode ser observado na Figura 7.1, dentre os Métodos estudados, os que apresentaram melhores resultados, quando aplicados aos quatro projetos, foram o Método Cortar e Colar (*C&PM*) representado pelo número 1, o Método da Raiz Quadrada do Erro (*RSEM*), representado pelo número 2, o Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (*APRT*), representado pelo número 4 e o Método Proposto aplicado ao Cenário 4, representado por 6(C4).

É importante ressaltar que, por levar em consideração a importância do projeto, o Método Proposto aplicado ao Cenário 4 acaba sendo menos evidente nos resultados do Projeto 4, considerado de menor importância para a empresa estudada. Para os demais projetos o 6(C4) apresentou bons resultados e conseqüentemente uma alternativa viável para dimensionamento de Pulmão de Projeto.

Por fim, a Figura 7.2 exibe um comparativo entre os Métodos que consideram apenas as variáveis, Complexidade do Projeto e Escassez de Recursos. Entre eles estão: Procedimento Adaptativo com Densidade (*APD*), representado pelo

número 3; Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (*APRT*), representado por 4; Método Melhorado da Raiz Quadrada do Erro (*IRSEM*) representado por 5; e o Método Proposto aplicado ao Cenário 5, representado por 6(5).

Comparativo C5	Total (T) - Previsto	Menor multa média	Menos estouros	Menos horas extras
Projeto 1	5 e 6(C5)	6(C5)	6(C5)	6(C5)
Projeto 2	5 e 6(C5)	4 e 6(C5)	4 e 6(C5)	4 e 6(C5)
Projeto 3	5 e 6(C5)	6(C5)	6(C5)	6(C5)
Projeto 4	5 e 6(C5)	6(C5)	6(C5)	6(C5)

Figura 7.2: Resultado da aplicação dos Métodos: comparativo com o Cenário 5

O Método Proposto quando aplicado ao Cenário 5, também se mostra como alternativa viável para dimensionamento de Pulmão de Tempo, pois, como pode ser visto na Figura 7.2, o 6(C5) está presente nos indicadores de todos os projetos.

A realização deste trabalho levantou sugestões que podem ser utilizadas para trabalhos futuros:

- Aplicar o método proposto e variar as funções de pertinência;
- Realizar as simulações variando os limites de controle do gráfico de monitoramento dos pulmões de tempo;
- Simular a execução dos projetos variando a função que representa a realização das atividades;
- Considerar um número maior de variáveis lingüísticas nos projetos considerados;
- Aplicar o método proposto em outros tipos de empresas;
- Considerar variáveis lingüísticas diferentes entre os projetos.

## Referências

AKKARI, A. M. P. **Proposição de um método de nivelamento de recursos a partir de princípios da Teoria das Restrições para o planejamento operacional.** Tese de Doutorado. USP. São Paulo-SP. 2009.

ALVES, R. **Filosofia da Ciência** – introdução ao jogo e suas regras. 21ª ed. São Paulo: Brasiliense. 1995.

AMINDOUST, A.; AHMED, S.; SAGHAFINIA, A.; BAHREININEJAD, A. **Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system.** Applied Soft Computing, n.12, p.1668-1677, 2012.

ANSELMO, J. L. **Gerenciamento de projetos em negócios baseados em projetos:** uma proposta integrada das dimensões operacional, organizacional e estratégica. Tese de Doutorado. FEA-USP. São Paulo-SP. 2009.

BANKS, J. **Handbook of Simulation: principles, methodology, advances, applications and practice.** Wiley Interscience : EUA, 1988.

BANNERMAN, P. L. **Defining project success:** a multilevel framework. Proceedings of the Project Management Institute Research Conference. Varsovia, 2008.

BAPTISTA H. R. **Implementando a Teoria das Restrições: usando a Árvore de Estratégias e Téticas.** Mundo PM, ed.27, jun-jul/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.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de Lógica Fuzzy e biomatemática.** Campinas: Comissão de Publicações IMECC/UNICAMP. Coleção IMECC. Textos didáticos, v.5, 2006.

BERENDS, P.; ROMME, G. **Simulation as a research tool in management studies.** European Management Journal, v.17, n.6, p.576-583. Netherland, 1999.

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. n.27, p.419-432, 2009.

BHASKAR, T.; PAL, M. N.; PAL, A. K. **A heuristic method for RCPSP with fuzzy activity times.** European Journal of Operational Research. n.208, p.57-66, 2011.

BRYMAN, A. **Research Methods and Organization Studies.** London: Routledge, 1989.

CALIA, E. G. **O Gerenciamento de Projetos por Corrente Crítica.** Revista Brasileira de Gerenciamento de Projetos, Curitiba, v.2, n.1, PM21 Soluções em Projetos, 2004.

CAMPANINI, L. **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. UFSCar. São Carlos-SP. 2008.

CANONICO, P.; SÖDERLUND, J. **Getting Control of multi-project organizations: Combining contingent control mechanisms.** International Journal of Project Management. n.28, p.796-806, 2010.

CASAROTTO Filho, N.; FAVERO, J. S.; CASTRO, J. E. E. **Gerência de projetos / engenharia simultânea.** São Paulo: Atlas,1999.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** São Paulo. Brasiliense, 1995.

CHANG, P. T.; LEE, J. H. **A fuzzy DEA and knapsack formulation integrated model for project selection.** Computers & Operations Research. n.39, p.112-125, 2012.

CHEN, S. P.; HSUEH, Y. J. **A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks.** Applied Mathematical Modelling. n.32, p.1289-1297, 2008.

COHEN, I.; MANDELBAUM, A.; SHTUB, A. **Multi-project scheduling and control: a process-based comparative study of the critical chain methodology and some alternatives.** Project Management Journal, n. 35, p. 39-50, 2004.

COPATTO, A. S. **Análise da Corrente Crítica como alternativa para gestão de projetos: potencialidades de aplicação em um ambiente engineer-to-order.** Dissertação de Mestrado. UNIMEP. Santa Bárbara d'Oeste-SP. 2006.

COPATTO, A. S.; SOUZA, F. B. **PERT/CPM versus Corrente Crítica: Pressupostos e Implicações.** Anais do XXIII Encontro Nacional de Engenharia da Produção. ABEPRO. Ouro Preto. 2003

CORRÊA, E. L.; GIANESI, G. N.; CAON M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção.** São Paulo: Editora Atlas S. A. 1997.

COX, E. **The fuzzy sets handbook: a practitioner's guide to building, using and maintaining fuzzy systems.** Boston: AP Professional, 1994.

CRESWELL, J. W. **Research Design – qualitative and quantitative approaches.** London : Sage, 1994.

DOMINGOS, J. C. **Programação on-line da produção de Sistemas Flexíveis de Manufatura baseado em Lógica Fuzzy.** Dissertação de Mestrado. UFSCar. São Carlos-SP. 2004.

ELMAGHRABY, S. E. E.; HERROELEN W. S.; LEUS, R. **Note on the paper 'Resource-constrained project management using enhanced theory of constraint' by Wei et al.** International Journal of Project Management. n. 21, p 301-305, 2003.

FINOCCHIO Jr, J. **Programação de parada de plataforma marítima utilizando o método da Corrente Crítica.** Dissertação de Mestrado. USP. São Paulo-SP. 2009.

FORZA, C. **Survey research in operations management: a process-based perspective.** International Journal of Operations & Production Management, v.2, n.2, p.152-194. Italy, 2002.

FREITAS, H.; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A. Z.; MOSCAROLA, J. **O método de pesquisa survey.** Revista de Administração, v.35, n.3, p.105-112. São Paulo, 2000.

GANGA, G. M. D. **Proposta de um modelo de simulação baseado em Lógica Fuzzy e no SCOR para predizer o desempenho da empresa-foco em cadeia de suprimentos.** Tese de Doutorado. EESC-USP. São Carlos-SP. 2010.

GOLDRATT, E. M. **A Síndrome do Palheiro: garimpando informações num oceano de dados.** São Paulo: IMAM, 1991.

GOLDRATT, E. M. **Corrente Crítica.** São Paulo: Nobel, 1998.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A Meta.** São Paulo: Educator, 1994.

GOODPASTURE, J. C. **The project office: finding pearls and avoiding perils.** Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium. Houston, 2000.

HARRELL, C.; BATEMAN, R. E.; GOGG, T. J.; MOTT, J. R. A. **System improvement using simulation.** Orem, Utah, USA, PROMODEL Corporation, 1995.

HERROELEN, W.; LEUS, R. **On the merits and pitfalls of critical chain scheduling.** Journal of Operations Management, n. 19, p. 559-577, 2001.

HERROELEN, W.; LEUS, R. **Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials.** European Journal of Operational Research, n. 165, p. 289-306, 2005.

HUANG, C. L.; CHEN, H. C.; LI, R. K.; TSAI, C. H. **A Comparative Study of the Critical Chain and PERT Planning Methods: No Bad Human Behaviors Involved.** International Journal of Academic Research in Business and Social Science. n. 08, v. 02, p 379-394, 2012.

KERZNER, H. **Gestão de Projetos: as melhores práticas.** Porto Alegre-RS. Bookman, 2002.

KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications.** Prentice Hall, New Jersey, 1995.

KRUGLIANSKAS, I. **Engenharia simultânea: organização e implantação em empresas brasileiras.** Revista de Administração de Empresas. São Paulo, v.28, n.4, p.104-110, 1993.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos da Metodologia Científica.** 3ªed. São Paulo, Atlas, 1995.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis**. McGraw-Hill, New York, 2000.

LEACH, L. P. **Critical chain project management improves project performance**. Project Management Journal. n.2, p.39-51, 1999.

LEACH, L. P. **Critical Chain Project Management**. 2ª ed. Norwood: Artech House, 2004.

LEWIS, J. P. **The project manager's desk reference**. 2ª ed. Boston: MacGraw-Hill, 2000.

LONG, L. D.; OHSATO, A. **Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty**. International Journal of Project Management. n.26, p.688-698, 2008.

MACCARTHY, B. L.; FERNANDES, F. C. F. **A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems**. Production Planning & Control, v. 11, n. 5, p. 481-496, 2000.

MANHÃES, J. C. S. **Estruturação da Mudança pela Teoria das Restrições na implementação do gerenciamento de projetos por Corrente Crítica: estudo de caso de uma Companhia de Energia**. Dissertação de Mestrado. UENF. Campos dos Goytacazes-RJ. 2011.

MAXIMIANO, A. C. A. **Administração de projetos: como transformar ideias em resultados**. São Paulo: Atlas, 1997.

MEREDITH, J. R.; MANTEL JR, S. J. **Administração de projetos: uma abordagem gerencial**. Rio de Janeiro: LTC S.A. 4 ed., 2003.

MIGUEL, P. A. C. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**. Revista Produção, v.17, n.1, p.216-229, 2007.

MORAIS C. H. B. **Gerenciamento de ambientes multiprojetos pelo método da Corrente Crítica em empresas brasileiras: Um estudo de multicasos**. Dissertação de Mestrado. FEA-USP. São Paulo-SP. 2011.

NASCIMENTO, C. A. D. **Gerenciamento de prazos: uma revisão crítica das técnicas em uso em empreendimentos em regime de EPC**. Dissertação de Mestrado. USP. São Paulo-SP. 2007.

BIONDI NETO, L.; COELHO, P. H. G.; AMARAL, J. L. M.; MELLO, M. H. C. S. **Micurso de Sistema Especialista Nebuloso**. XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Goiânia-GO. 2006

NEWBOLD, R. C. **Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints**. St. Lucie Press, New York, 1998.

NEWBOLD, R. C. **Introduction to critical chain project management**. Prochain Solutions Inc. 2002.

NOREEN, E.; SMITH, D.; MACKEY, J. T. **A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial**. São Paulo: Educator, 1996.

OHDAR, R.; RAY, P. K. **Performance measurement and evaluation of suppliers in supply chain: an evolutionary fuzzy-based approach**. Journal of Manufacturing Technology Management, v.15, n.8, p.723-734, 2004.

PAULA, A. C. de; PIGNATARI, D.; VAMPEL, F. **A Aplicação da Teoria das Restrições (TOC) por meio da Corrente Crítica (CCPM) pode contribuir para o aumento na taxa de sucesso dos projetos**. Fundação Instituto de Administração – FIA. São Paulo, 2005.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An introduction to Fuzzy sets: Analysis and Design**. Massachusetts: MIT Press, 1998.

PMBOK - Project Management Institute (PMI) **A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide 2008, 4ª ed, USA**.

RABBANI, M.; GHOMI, S. M. T. F.; JOLAI, F.; LAHIJI, N. S. **A new heuristic for resource-constrained project scheduling in stochastic networks using critical chain concepts**. European Journal of Operational Research, n. 176, p. 794-808, 2007.

RAND, G. K. **Critical chain: the theory of constraints applied to project management**. International Journal of Project Management. n.18, p.173-177, 2000.

RIBEIRO, J. B.; LONGO, O. C. **Mecanismos de participação e o gerenciamento das partes interessadas em obras públicas**. IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Junho, 2013.

ROLDÃO, V. S. **Gestão de projetos: uma perspectiva integrada**. São Carlos: EdUFSCar, 2004.

RUSSOMANO, V.H. **Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Editora Pioneira, 1989.

SERRA, C. E. M.; SANTOS, E. L.; SÉLLOS, L. **Recursos estratégicos em ambiente Multiprojetos**. Revista Mundo Project Management. ed. 19, 2008.

SHANNON, R. E. **Systems Simulation: the art and science**. Englewood Cliffs: Prentice- Hall, 1975.

SIPPER, D.; BULFIN, R. L. **Production: planning, control and integration**. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. 1997.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.. **Administração da Produção**. 2ed. São Paulo: Atlas 2002.

SLOLER, A. M. **Teoria das Restrições aplicada a projetos**. MBA Administração de Projetos. FIA – Fundação Instituto de Administração, 2009.

STEYN, H. **An investigation into the fundamentals of critical chain project scheduling**. International Journal of Project Management. n. 19, p. 363-369, 2000.

STEYN, H. **Project management applications of the theory of constraints beyond critical chain scheduling**. International Journal of Project Management. n. 20, p 75-85, 2002.

THIOLLENT, M. **Problemas de metodologia**. In: FLEURY, A. & VARGAS, N. Organização do trabalho. São Paulo: Atlas, 1987.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 220 p., 1997.

TUKEL, O. I.; ROM, W. O.; EKSIUGLU, S. D. **A investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling**. European Journal of Operational Research, n. 172, p. 401-416, 2006.

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.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. **Case research in operation management**. International Journal of Operations & Production Management, v.22, n.2, p.195-219. London-UK, 2002.

WEI, C.; LIU, P.; TSAI, Y. **Resource-constrained project management using enhanced theory of constraint**. International Journal of Project Management. n. 20, p 561-567, 2002.

WONG, B. K.; LAI, V. S. **A survey of the application of fuzzy set theory in production and operations management: 1998-2009**. International Journal of Production Economics. n.129, p.157-168, 2011.

WOODWARD, J. **Organização industrial: teoria e prática**. São Paulo, Editora Atlas, 1977, 262p.

XIE, X.; YANG, G.; LIN, C. **Software development projects IRSE buffer settings and simulation based on critical chain**. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications. n. 17, p 100-106, 2010.

XU, J.; ZHENG, H.; ZENG, Z.; WU, S.; SHEN M. **Discrete time-cost-environment trade-off problem for large-scale construction systems with multiple modes under fuzzy uncertainty and its application to Jinping-II Hydroelectric Project**. International Journal of Project Management. n.30, p.950-966, 2012.

YAGER, R. R.; FILEV, D. P. **Essentials of Fuzzy modeling and control**. New York: John Wiley, 388p., 1994.

YANG, S.; FU, L. **Critical chain and evidence reasoning applied to multi-project resource schedule in automobile R&D process.** International Journal of Project Management. n. xx, p xxx-xxx, 2013. Available online 20 March 2013.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos.** Tradução de Daniel Grassi, 2a edição, Porto Alegre: Editora Bookman, 2002.

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets.** Information and Control. v. 8, pp. 338-353, 1965.

ZILBOVICIUS, M. **Modelos para a produção, produção de modelos.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da USP. São Paulo-SP. 1997.

## **APÊNDICE – SIMULAÇÃO**

A simulação que está nesta seção se refere à aplicação do Método Cortar e Colar (*C&PM*) no Projeto 1.

As demais simulações estão em arquivos eletrônicos gravados no CD que acompanha este trabalho.

**MÉTODO CORTAR E COLAR**  
CÁLCULO DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA O PROJETO 1

Atividades da CC	Tempo estimado inicial	Tempo CC	Tempo do Pulmão
A	4	2	1
B	4	2	1
A	8	4	2
B	12	6	3

Conforme Law e Kelton (2000), os valores da média e desvio padrão usados para gerar os números aleatórios, seguindo uma distribuição lognormal, devem ser calculados a partir dos valores da média' e desvio padrão'

média' = Tempo CC + Tempo do Pulmão

desvio padrão' = Estabelecido com base no histórico das atividades

Atividades da CC	desvio padrão'	média'
A	0,5	3
B	0,5	3
A	1	6
B	1	9

Fórmulas para cálculo da média e desvio padrão

média =  $E(Y) = \ln(\text{média}'^2 / \text{Raiz}(\text{média}'^2 + \text{desvio p}'^2))$

variância =  $\text{Var}(Y) = \ln(1 + (\text{desvio p}'^2 / \text{média}'^2))$

desvio p =  $\text{RAIZ}(\text{variância})$

Atividades da CC	desvio padrão	média	variância
A	0,17	1,08	0,0274
B	0,17	1,08	0,0274
A	0,17	1,78	0,0274
B	0,11	2,19	0,0123

### Método Cortar e Colar: Tempos gerados no Software "R" - Projeto 1

Tempo	Atividades CC				Tempo	Atividades CC			
	A	B	A	B		A	B	A	B
	1,08	1,08	1,78	2,19		1,08	1,08	1,78	2,19
1	2,66	3,09	4,9	8,01	51	2,62	2,73	5,12	10,35
2	3,5	3,01	5,41	10,73	52	2,1	2,85	6,21	8,69
3	4,16	2,54	4,78	8,04	53	2,5	4,3	6,37	6,88
4	3,88	2,36	4,89	8,46	54	3,84	3,44	4,91	9,08
5	2,68	2,32	4,38	9,7	55	3,46	2,47	6,8	8,9
6	2,52	2,88	6,66	9,04	56	2,51	3,39	4,15	8,61
7	2,79	2,47	4,42	8,32	57	2,31	2,68	5,62	9,97
8	3,09	2,76	5,48	7,92	58	2,64	2,68	5,18	8,42
9	3,01	3,36	6,6	7,84	59	3,36	2,97	6,51	9,36
10	3,37	3,5	5,15	9,31	60	2,7	3,71	5,48	9,3
11	3,72	3,8	6,48	7,98	61	3,01	3,1	7,19	8,61
12	3,38	3,33	5,98	8,3	62	2,86	3,26	5,73	10,32
13	3,27	2,77	8,53	9,16	63	3,17	3,23	6,88	10,35
14	2,6	2,16	5,9	7,95	64	2,55	2,68	4,4	8,59
15	3,64	2,72	6,11	8,73	65	3,26	2,47	6,48	9,78
16	2,89	2,85	4,7	8,16	66	2,86	2,69	6,75	9,84
17	3,83	2,92	5,6	9,22	67	3,66	2,62	4,86	9,21
18	3,85	3,75	7,26	9,22	68	3,31	3,06	4,59	7,55
19	3,66	3,03	4,45	9,24	69	4,46	3,15	6,29	8,69
20	2,51	2,39	6,98	9,07	70	2,6	3,07	6,53	9,02
21	4,21	3,26	5,73	9,32	71	2,93	3,2	5,97	8,32
22	2,88	2,96	6,76	8,86	72	3,05	3,01	4,94	8,12
23	2,66	3,4	6,05	10,8	73	2,73	2,91	7,47	8,37
24	2,89	4	5,51	9,51	74	2,3	3,13	4,58	8,51
25	4,07	2,63	5,05	8,4	75	3,26	3	4,59	8,79
26	3,86	2,77	5,12	9,47	76	2,82	4,02	5,89	7,9
27	3,32	2,42	6,65	8,88	77	3,36	3,41	7,52	8,46
28	2,68	2,35	6,48	8,67	78	3,66	2,85	4,47	9,77
29	3,36	2,84	5,88	8,64	79	3,12	3,63	4,51	8,64
30	3,58	2,36	5,79	8,62	80	2,52	3,75	4,83	7,38
31	3,15	2,97	4,97	8,15	81	2,79	2,83	8,2	9,29
32	3,37	3,29	5,92	7,4	82	3,34	3,85	5,75	7,75
33	2,96	4,48	6,47	7,99	83	4,32	2,89	6,35	9,4
34	3,03	3,99	4,63	8,38	84	2,91	3,04	5,21	7,58
35	2,97	3,24	4,19	8,89	85	2,8	4,1	6,22	7,5
36	3,26	4,12	5,22	10,52	86	3,41	3	7,55	9,33
37	3,91	3,27	6,31	8,78	87	2,63	2,77	7,27	11,35
38	2,93	2,57	6,56	7,96	88	2,86	3,09	4,48	7,03
39	3,05	2,73	7,58	9,54	89	3,83	2,85	4,99	9,37
40	2,73	2,84	7,16	7,42	90	3,27	3,38	4,37	10,02
41	3,24	2,78	5,45	6,64	91	3,49	2,47	5,8	8,4
42	2,76	3,04	6,73	8,54	92	3,94	3,16	6,39	11,07
43	3,01	2,82	7,19	8,68	93	2,97	2,54	6,05	8,42
44	4,33	2,06	6,08	10,23	94	3,68	3,24	6,87	9,18
45	3,65	2,57	6,45	7,36	95	3,46	3,11	5,04	7,09
46	2,54	2,33	5,14	10,6	96	3,43	3,43	6,24	9,47
47	2,5	3,85	6,8	8,85	97	2,83	2,96	7,2	9,2
48	3,27	3,17	7,44	8,54	98	2,72	2,39	7,01	9,52
49	4,58	2,65	5,51	8,52	99	3,25	3,21	4,3	9,88
50	2,24	3,89	7,53	9,86	100	4,48	3,37	6,14	9,06

## Método Cortar e Colar - Divisão das atividades em períodos e seus tempos gerados

PROJETO 1 - Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Dias planejados	2	1	2	1	3	3	3	2	2	2	21
Atividades	A		B		A			B			
Percentual da Atividade	0,67	0,33	0,67	0,33	0,50	0,50	0,33	0,22	0,22	0,22	4,00
Replicações	Dias por período										
1	1,773	0,887	2,06	1,03	2,45	2,45	2,67	1,78	1,78	1,78	18,66
2	2,333	1,167	2,007	1,003	2,705	2,705	3,577	2,384	2,384	2,384	22,65
3	2,773	1,387	1,693	0,847	2,39	2,39	2,68	1,787	1,787	1,787	19,52
4	2,587	1,293	1,573	0,787	2,445	2,445	2,82	1,88	1,88	1,88	19,59
5	1,787	0,893	1,547	0,773	2,19	2,19	3,233	2,156	2,156	2,156	19,08
6	1,68	0,84	1,92	0,96	3,33	3,33	3,013	2,009	2,009	2,009	21,10
7	1,86	0,93	1,647	0,823	2,21	2,21	2,773	1,849	1,849	1,849	18,00
8	2,06	1,03	1,84	0,92	2,74	2,74	2,64	1,76	1,76	1,76	19,25
9	2,007	1,003	2,24	1,12	3,3	3,3	2,613	1,742	1,742	1,742	20,81
10	2,247	1,123	2,333	1,167	2,575	2,575	3,103	2,069	2,069	2,069	21,33
11	2,48	1,24	2,533	1,267	3,24	3,24	2,66	1,773	1,773	1,773	21,98
12	2,253	1,127	2,22	1,11	2,99	2,99	2,767	1,844	1,844	1,844	20,99
13	2,18	1,09	1,847	0,923	4,265	4,265	3,053	2,036	2,036	2,036	23,73
14	1,733	0,867	1,44	0,72	2,95	2,95	2,65	1,767	1,767	1,767	18,61
15	2,427	1,213	1,813	0,907	3,055	3,055	2,91	1,94	1,94	1,94	21,20
16	1,927	0,963	1,9	0,95	2,35	2,35	2,72	1,813	1,813	1,813	18,60
17	2,553	1,277	1,947	0,973	2,8	2,8	3,073	2,049	2,049	2,049	21,57
18	2,567	1,283	2,5	1,25	3,63	3,63	3,073	2,049	2,049	2,049	24,08
19	2,44	1,22	2,02	1,01	2,225	2,225	3,08	2,053	2,053	2,053	20,38
20	1,673	0,837	1,593	0,797	3,49	3,49	3,023	2,016	2,016	2,016	20,95
21	2,807	1,403	2,173	1,087	2,865	2,865	3,107	2,071	2,071	2,071	22,52
22	1,92	0,96	1,973	0,987	3,38	3,38	2,953	1,969	1,969	1,969	21,46
23	1,773	0,887	2,267	1,133	3,025	3,025	3,6	2,4	2,4	2,4	22,91
24	1,927	0,963	2,667	1,333	2,755	2,755	3,17	2,113	2,113	2,113	21,91
25	2,713	1,357	1,753	0,877	2,525	2,525	2,8	1,867	1,867	1,867	20,15
26	2,573	1,287	1,847	0,923	2,56	2,56	3,157	2,104	2,104	2,104	21,22
27	2,213	1,107	1,613	0,807	3,325	3,325	2,96	1,973	1,973	1,973	21,27
28	1,787	0,893	1,567	0,783	3,24	3,24	2,89	1,927	1,927	1,927	20,18
29	2,24	1,12	1,893	0,947	2,94	2,94	2,88	1,92	1,92	1,92	20,72
30	2,387	1,193	1,573	0,787	2,895	2,895	2,873	1,916	1,916	1,916	20,35
31	2,1	1,05	1,98	0,99	2,485	2,485	2,717	1,811	1,811	1,811	19,24
32	2,247	1,123	2,193	1,097	2,96	2,96	2,467	1,644	1,644	1,644	19,98
33	1,973	0,987	2,987	1,493	3,235	3,235	2,663	1,776	1,776	1,776	21,90
34	2,02	1,01	2,66	1,33	2,315	2,315	2,793	1,862	1,862	1,862	20,03
35	1,98	0,99	2,16	1,08	2,095	2,095	2,963	1,976	1,976	1,976	19,29
36	2,173	1,087	2,747	1,373	2,61	2,61	3,507	2,338	2,338	2,338	23,12
37	2,607	1,303	2,18	1,09	3,155	3,155	2,927	1,951	1,951	1,951	22,27
38	1,953	0,977	1,713	0,857	3,28	3,28	2,653	1,769	1,769	1,769	20,02
39	2,033	1,017	1,82	0,91	3,79	3,79	3,18	2,12	2,12	2,12	22,90
40	1,82	0,91	1,893	0,947	3,58	3,58	2,473	1,649	1,649	1,649	20,15
41	2,16	1,08	1,853	0,927	2,725	2,725	2,213	1,476	1,476	1,476	18,11
42	1,84	0,92	2,027	1,013	3,365	3,365	2,847	1,898	1,898	1,898	21,07
43	2,007	1,003	1,88	0,94	3,595	3,595	2,893	1,929	1,929	1,929	21,70
44	2,887	1,443	1,373	0,687	3,04	3,04	3,41	2,273	2,273	2,273	22,70
45	2,433	1,217	1,713	0,857	3,225	3,225	2,453	1,636	1,636	1,636	20,03
46	1,693	0,847	1,553	0,777	2,57	2,57	3,533	2,356	2,356	2,356	20,61
47	1,667	0,833	2,567	1,283	3,4	3,4	2,95	1,967	1,967	1,967	22,00
48	2,18	1,09	2,113	1,057	3,72	3,72	2,847	1,898	1,898	1,898	22,42
49	3,053	1,527	1,767	0,883	2,755	2,755	2,84	1,893	1,893	1,893	21,26
50	1,493	0,747	2,593	1,297	3,765	3,765	3,287	2,191	2,191	2,191	23,52

## Método Cortar e Colar - Divisão das atividades em períodos e seus tempos gerados

PROJETO 1 - Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Dias planejados	2	1	2	1	3	3	3	2	2	2	21
Atividades	A		B		A		B				
Percentual da Atividade	0,67	0,33	0,67	0,33	0,50	0,50	0,33	0,22	0,22	0,22	4,00
Replicações	Dias por período										
51	1,747	0,873	1,82	0,91	2,56	2,56	3,45	2,3	2,3	2,3	20,82
52	1,4	0,7	1,9	0,95	3,105	3,105	2,897	1,931	1,931	1,931	19,85
53	1,667	0,833	2,867	1,433	3,185	3,185	2,293	1,529	1,529	1,529	20,05
54	2,56	1,28	2,293	1,147	2,455	2,455	3,027	2,018	2,018	2,018	21,27
55	2,307	1,153	1,647	0,823	3,4	3,4	2,967	1,978	1,978	1,978	21,63
56	1,673	0,837	2,26	1,13	2,075	2,075	2,87	1,913	1,913	1,913	18,66
57	1,54	0,77	1,787	0,893	2,81	2,81	3,323	2,216	2,216	2,216	20,58
58	1,76	0,88	1,787	0,893	2,59	2,59	2,807	1,871	1,871	1,871	18,92
59	2,24	1,12	1,98	0,99	3,255	3,255	3,12	2,08	2,08	2,08	22,20
60	1,8	0,9	2,473	1,237	2,74	2,74	3,1	2,067	2,067	2,067	21,19
61	2,007	1,003	2,067	1,033	3,595	3,595	2,87	1,913	1,913	1,913	21,91
62	1,907	0,953	2,173	1,087	2,865	2,865	3,44	2,293	2,293	2,293	22,17
63	2,113	1,057	2,153	1,077	3,44	3,44	3,45	2,3	2,3	2,3	23,63
64	1,7	0,85	1,787	0,893	2,2	2,2	2,863	1,909	1,909	1,909	18,22
65	2,173	1,087	1,647	0,823	3,24	3,24	3,26	2,173	2,173	2,173	21,99
66	1,907	0,953	1,793	0,897	3,375	3,375	3,28	2,187	2,187	2,187	22,14
67	2,44	1,22	1,747	0,873	2,43	2,43	3,07	2,047	2,047	2,047	20,35
68	2,207	1,103	2,04	1,02	2,295	2,295	2,517	1,678	1,678	1,678	18,51
69	2,973	1,487	2,1	1,05	3,145	3,145	2,897	1,931	1,931	1,931	22,59
70	1,733	0,867	2,047	1,023	3,265	3,265	3,007	2,004	2,004	2,004	21,22
71	1,953	0,977	2,133	1,067	2,985	2,985	2,773	1,849	1,849	1,849	20,42
72	2,033	1,017	2,007	1,003	2,47	2,47	2,707	1,804	1,804	1,804	19,12
73	1,82	0,91	1,94	0,97	3,735	3,735	2,79	1,86	1,86	1,86	21,48
74	1,533	0,767	2,087	1,043	2,29	2,29	2,837	1,891	1,891	1,891	18,52
75	2,173	1,087	2	1	2,295	2,295	2,93	1,953	1,953	1,953	19,64
76	1,88	0,94	2,68	1,34	2,945	2,945	2,633	1,756	1,756	1,756	20,63
77	2,24	1,12	2,273	1,137	3,76	3,76	2,82	1,88	1,88	1,88	22,75
78	2,44	1,22	1,9	0,95	2,235	2,235	3,257	2,171	2,171	2,171	20,75
79	2,08	1,04	2,42	1,21	2,255	2,255	2,88	1,92	1,92	1,92	19,90
80	1,68	0,84	2,5	1,25	2,415	2,415	2,46	1,64	1,64	1,64	18,48
81	1,86	0,93	1,887	0,943	4,1	4,1	3,097	2,064	2,064	2,064	23,11
82	2,227	1,113	2,567	1,283	2,875	2,875	2,583	1,722	1,722	1,722	20,69
83	2,88	1,44	1,927	0,963	3,175	3,175	3,133	2,089	2,089	2,089	22,96
84	1,94	0,97	2,027	1,013	2,605	2,605	2,527	1,684	1,684	1,684	18,74
85	1,867	0,933	2,733	1,367	3,11	3,11	2,5	1,667	1,667	1,667	20,62
86	2,273	1,137	2	1	3,775	3,775	3,11	2,073	2,073	2,073	23,29
87	1,753	0,877	1,847	0,923	3,635	3,635	3,783	2,522	2,522	2,522	24,02
88	1,907	0,953	2,06	1,03	2,24	2,24	2,343	1,562	1,562	1,562	17,46
89	2,553	1,277	1,9	0,95	2,495	2,495	3,123	2,082	2,082	2,082	21,04
90	2,18	1,09	2,253	1,127	2,185	2,185	3,34	2,227	2,227	2,227	21,04
91	2,327	1,163	1,647	0,823	2,9	2,9	2,8	1,867	1,867	1,867	20,16
92	2,627	1,313	2,107	1,053	3,195	3,195	3,69	2,46	2,46	2,46	24,56
93	1,98	0,99	1,693	0,847	3,025	3,025	2,807	1,871	1,871	1,871	19,98
94	2,453	1,227	2,16	1,08	3,435	3,435	3,06	2,04	2,04	2,04	22,97
95	2,307	1,153	2,073	1,037	2,52	2,52	2,363	1,576	1,576	1,576	18,70
96	2,287	1,143	2,287	1,143	3,12	3,12	3,157	2,104	2,104	2,104	22,57
97	1,887	0,943	1,973	0,987	3,6	3,6	3,067	2,044	2,044	2,044	22,19
98	1,813	0,907	1,593	0,797	3,505	3,505	3,173	2,116	2,116	2,116	21,64
99	2,167	1,083	2,14	1,07	2,15	2,15	3,293	2,196	2,196	2,196	20,64
100	2,987	1,493	2,247	1,123	3,07	3,07	3,02	2,013	2,013	2,013	23,05

## Método Cortar e Colar - Tempos gerados acumulados por período

PROJETO 1 - Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Dias planejados	2	3	5	6	9	12	15	17	19	21	21
Atividades	A		B		A		B				
Percentual da Atividade	0,67	1,00	1,67	2,00	2,50	3,00	3,33	3,56	3,78	4,00	4,00
Replicações	Dias acumulados por período										
1	1,773	2,66	4,72	5,75	8,2	10,65	13,32	15,1	16,88	18,66	18,66
2	2,333	3,5	5,507	6,51	9,215	11,92	15,5	17,88	20,27	22,65	22,65
3	2,773	4,16	5,853	6,7	9,09	11,48	14,16	15,95	17,73	19,52	19,52
4	2,587	3,88	5,453	6,24	8,685	11,13	13,95	15,83	17,71	19,59	19,59
5	1,787	2,68	4,227	5	7,19	9,38	12,61	14,77	16,92	19,08	19,08
6	1,68	2,52	4,44	5,4	8,73	12,06	15,07	17,08	19,09	21,1	21,10
7	1,86	2,79	4,437	5,26	7,47	9,68	12,45	14,3	16,15	18	18,00
8	2,06	3,09	4,93	5,85	8,59	11,33	13,97	15,73	17,49	19,25	19,25
9	2,007	3,01	5,25	6,37	9,67	12,97	15,58	17,33	19,07	20,81	20,81
10	2,247	3,37	5,703	6,87	9,445	12,02	15,12	17,19	19,26	21,33	21,33
11	2,48	3,72	6,253	7,52	10,76	14	16,66	18,43	20,21	21,98	21,98
12	2,253	3,38	5,6	6,71	9,7	12,69	15,46	17,3	19,15	20,99	20,99
13	2,18	3,27	5,117	6,04	10,31	14,57	17,62	19,66	21,69	23,73	23,73
14	1,733	2,6	4,04	4,76	7,71	10,66	13,31	15,08	16,84	18,61	18,61
15	2,427	3,64	5,453	6,36	9,415	12,47	15,38	17,32	19,26	21,2	21,20
16	1,927	2,89	4,79	5,74	8,09	10,44	13,16	14,97	16,79	18,6	18,60
17	2,553	3,83	5,777	6,75	9,55	12,35	15,42	17,47	19,52	21,57	21,57
18	2,567	3,85	6,35	7,6	11,23	14,86	17,93	19,98	22,03	24,08	24,08
19	2,44	3,66	5,68	6,69	8,915	11,14	14,22	16,27	18,33	20,38	20,38
20	1,673	2,51	4,103	4,9	8,39	11,88	14,9	16,92	18,93	20,95	20,95
21	2,807	4,21	6,383	7,47	10,34	13,2	16,31	18,38	20,45	22,52	22,52
22	1,92	2,88	4,853	5,84	9,22	12,6	15,55	17,52	19,49	21,46	21,46
23	1,773	2,66	4,927	6,06	9,085	12,11	15,71	18,11	20,51	22,91	22,91
24	1,927	2,89	5,557	6,89	9,645	12,4	15,57	17,68	19,8	21,91	21,91
25	2,713	4,07	5,823	6,7	9,225	11,75	14,55	16,42	18,28	20,15	20,15
26	2,573	3,86	5,707	6,63	9,19	11,75	14,91	17,01	19,12	21,22	21,22
27	2,213	3,32	4,933	5,74	9,065	12,39	15,35	17,32	19,3	21,27	21,27
28	1,787	2,68	4,247	5,03	8,27	11,51	14,4	16,33	18,25	20,18	20,18
29	2,24	3,36	5,253	6,2	9,14	12,08	14,96	16,88	18,8	20,72	20,72
30	2,387	3,58	5,153	5,94	8,835	11,73	14,6	16,52	18,43	20,35	20,35
31	2,1	3,15	5,13	6,12	8,605	11,09	13,81	15,62	17,43	19,24	19,24
32	2,247	3,37	5,563	6,66	9,62	12,58	15,05	16,69	18,34	19,98	19,98
33	1,973	2,96	5,947	7,44	10,68	13,91	16,57	18,35	20,12	21,9	21,90
34	2,02	3,03	5,69	7,02	9,335	11,65	14,44	16,31	18,17	20,03	20,03
35	1,98	2,97	5,13	6,21	8,305	10,4	13,36	15,34	17,31	19,29	19,29
36	2,173	3,26	6,007	7,38	9,99	12,6	16,11	18,44	20,78	23,12	23,12
37	2,607	3,91	6,09	7,18	10,34	13,49	16,42	18,37	20,32	22,27	22,27
38	1,953	2,93	4,643	5,5	8,78	12,06	14,71	16,48	18,25	20,02	20,02
39	2,033	3,05	4,87	5,78	9,57	13,36	16,54	18,66	20,78	22,9	22,90
40	1,82	2,73	4,623	5,57	9,15	12,73	15,2	16,85	18,5	20,15	20,15
41	2,16	3,24	5,093	6,02	8,745	11,47	13,68	15,16	16,63	18,11	18,11
42	1,84	2,76	4,787	5,8	9,165	12,53	15,38	17,27	19,17	21,07	21,07
43	2,007	3,01	4,89	5,83	9,425	13,02	15,91	17,84	19,77	21,7	21,70
44	2,887	4,33	5,703	6,39	9,43	12,47	15,88	18,15	20,43	22,7	22,70
45	2,433	3,65	5,363	6,22	9,445	12,67	15,12	16,76	18,39	20,03	20,03
46	1,693	2,54	4,093	4,87	7,44	10,01	13,54	15,9	18,25	20,61	20,61
47	1,667	2,5	5,067	6,35	9,75	13,15	16,1	18,07	20,03	22	22,00
48	2,18	3,27	5,383	6,44	10,16	13,88	16,73	18,62	20,52	22,42	22,42
49	3,053	4,58	6,347	7,23	9,985	12,74	15,58	17,47	19,37	21,26	21,26
50	1,493	2,24	4,833	6,13	9,895	13,66	16,95	19,14	21,33	23,52	23,52

## Método Cortar e Colar - Tempos gerados acumulados por período

PROJETO 1 - Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Dias planejados	2	3	5	6	9	12	15	17	19	21	21
Atividades	A		B		A		B				
Percentual da Atividade	0,67	1,00	1,67	2,00	2,50	3,00	3,33	3,56	3,78	4,00	4,00
Replicações	Dias acumulados por período										
51	1,747	2,62	4,44	5,35	7,91	10,47	13,92	16,22	18,52	20,82	20,82
52	1,4	2,1	4	4,95	8,055	11,16	14,06	15,99	17,92	19,85	19,85
53	1,667	2,5	5,367	6,8	9,985	13,17	15,46	16,99	18,52	20,05	20,05
54	2,56	3,84	6,133	7,28	9,735	12,19	15,22	17,23	19,25	21,27	21,27
55	2,307	3,46	5,107	5,93	9,33	12,73	15,7	17,67	19,65	21,63	21,63
56	1,673	2,51	4,77	5,9	7,975	10,05	12,92	14,83	16,75	18,66	18,66
57	1,54	2,31	4,097	4,99	7,8	10,61	13,93	16,15	18,36	20,58	20,58
58	1,76	2,64	4,427	5,32	7,91	10,5	13,31	15,18	17,05	18,92	18,92
59	2,24	3,36	5,34	6,33	9,585	12,84	15,96	18,04	20,12	22,2	22,20
60	1,8	2,7	5,173	6,41	9,15	11,89	14,99	17,06	19,12	21,19	21,19
61	2,007	3,01	5,077	6,11	9,705	13,3	16,17	18,08	20	21,91	21,91
62	1,907	2,86	5,033	6,12	8,985	11,85	15,29	17,58	19,88	22,17	22,17
63	2,113	3,17	5,323	6,4	9,84	13,28	16,73	19,03	21,33	23,63	23,63
64	1,7	2,55	4,337	5,23	7,43	9,63	12,49	14,4	16,31	18,22	18,22
65	2,173	3,26	4,907	5,73	8,97	12,21	15,47	17,64	19,82	21,99	21,99
66	1,907	2,86	4,653	5,55	8,925	12,3	15,58	17,77	19,95	22,14	22,14
67	2,44	3,66	5,407	6,28	8,71	11,14	14,21	16,26	18,3	20,35	20,35
68	2,207	3,31	5,35	6,37	8,665	10,96	13,48	15,15	16,83	18,51	18,51
69	2,973	4,46	6,56	7,61	10,76	13,9	16,8	18,73	20,66	22,59	22,59
70	1,733	2,6	4,647	5,67	8,935	12,2	15,21	17,21	19,22	21,22	21,22
71	1,953	2,93	5,063	6,13	9,115	12,1	14,87	16,72	18,57	20,42	20,42
72	2,033	3,05	5,057	6,06	8,53	11	13,71	15,51	17,32	19,12	19,12
73	1,82	2,73	4,67	5,64	9,375	13,11	15,9	17,76	19,62	21,48	21,48
74	1,533	2,3	4,387	5,43	7,72	10,01	12,85	14,74	16,63	18,52	18,52
75	2,173	3,26	5,26	6,26	8,555	10,85	13,78	15,73	17,69	19,64	19,64
76	1,88	2,82	5,5	6,84	9,785	12,73	15,36	17,12	18,87	20,63	20,63
77	2,24	3,36	5,633	6,77	10,53	14,29	17,11	18,99	20,87	22,75	22,75
78	2,44	3,66	5,56	6,51	8,745	10,98	14,24	16,41	18,58	20,75	20,75
79	2,08	3,12	5,54	6,75	9,005	11,26	14,14	16,06	17,98	19,9	19,90
80	1,68	2,52	5,02	6,27	8,685	11,1	13,56	15,2	16,84	18,48	18,48
81	1,86	2,79	4,677	5,62	9,72	13,82	16,92	18,98	21,05	23,11	23,11
82	2,227	3,34	5,907	7,19	10,07	12,94	15,52	17,25	18,97	20,69	20,69
83	2,88	4,32	6,247	7,21	10,39	13,56	16,69	18,78	20,87	22,96	22,96
84	1,94	2,91	4,937	5,95	8,555	11,16	13,69	15,37	17,06	18,74	18,74
85	1,867	2,8	5,533	6,9	10,01	13,12	15,62	17,29	18,95	20,62	20,62
86	2,273	3,41	5,41	6,41	10,19	13,96	17,07	19,14	21,22	23,29	23,29
87	1,753	2,63	4,477	5,4	9,035	12,67	16,45	18,98	21,5	24,02	24,02
88	1,907	2,86	4,92	5,95	8,19	10,43	12,77	14,34	15,9	17,46	17,46
89	2,553	3,83	5,73	6,68	9,175	11,67	14,79	16,88	18,96	21,04	21,04
90	2,18	3,27	5,523	6,65	8,835	11,02	14,36	16,59	18,81	21,04	21,04
91	2,327	3,49	5,137	5,96	8,86	11,76	14,56	16,43	18,29	20,16	20,16
92	2,627	3,94	6,047	7,1	10,3	13,49	17,18	19,64	22,1	24,56	24,56
93	1,98	2,97	4,663	5,51	8,535	11,56	14,37	16,24	18,11	19,98	19,98
94	2,453	3,68	5,84	6,92	10,36	13,79	16,85	18,89	20,93	22,97	22,97
95	2,307	3,46	5,533	6,57	9,09	11,61	13,97	15,55	17,12	18,7	18,70
96	2,287	3,43	5,717	6,86	9,98	13,1	16,26	18,36	20,47	22,57	22,57
97	1,887	2,83	4,803	5,79	9,39	12,99	16,06	18,1	20,15	22,19	22,19
98	1,813	2,72	4,313	5,11	8,615	12,12	15,29	17,41	19,52	21,64	21,64
99	2,167	3,25	5,39	6,46	8,61	10,76	14,05	16,25	18,44	20,64	20,64
100	2,987	4,48	6,727	7,85	10,92	13,99	17,01	19,02	21,04	23,05	23,05

### Método Cortar e Colar - Percentual de consumo do Pulmão do Projeto 1

Valores →	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Replicações											
1	0	8,44	12,67	22,48	27,38	39,05	50,71	63,43	71,90	80,38	88,86
2	0	11,11	16,67	26,22	31,00	43,88	56,76	73,79	85,15	96,50	107,86
3	0	13,21	19,81	27,87	31,90	43,29	54,67	67,43	75,94	84,44	92,95
4	0	12,32	18,48	25,97	29,71	41,36	53,00	66,43	75,38	84,33	93,29
5	0	8,51	12,76	20,13	23,81	34,24	44,67	60,06	70,33	80,59	90,86
6	0	8,00	12,00	21,14	25,71	41,57	57,43	71,78	81,34	90,91	100,48
7	0	8,86	13,29	21,13	25,05	35,57	46,10	59,30	68,11	76,91	85,71
8	0	9,81	14,71	23,48	27,86	40,90	53,95	66,52	74,90	83,29	91,67
9	0	9,56	14,33	25,00	30,33	46,05	61,76	74,21	82,50	90,80	99,10
10	0	10,70	16,05	27,16	32,71	44,98	57,24	72,02	81,87	91,72	101,57
11	0	11,81	17,71	29,78	35,81	51,24	66,67	79,33	87,78	96,22	104,67
12	0	10,73	16,10	26,67	31,95	46,19	60,43	73,60	82,39	91,17	99,95
13	0	10,38	15,57	24,37	28,76	49,07	69,38	83,92	93,61	103,31	113,00
14	0	8,25	12,38	19,24	22,67	36,71	50,76	63,38	71,79	80,21	88,62
15	0	11,56	17,33	25,97	30,29	44,83	59,38	73,24	82,48	91,71	100,95
16	0	9,17	13,76	22,81	27,33	38,52	49,71	62,67	71,30	79,94	88,57
17	0	12,16	18,24	27,51	32,14	45,48	58,81	73,44	83,20	92,96	102,71
18	0	12,22	18,33	30,24	36,19	53,48	70,76	85,40	95,15	104,91	114,67
19	0	11,62	17,43	27,05	31,86	42,45	53,05	67,71	77,49	87,27	97,05
20	0	7,97	11,95	19,54	23,33	39,95	56,57	70,97	80,57	90,16	99,76
21	0	13,37	20,05	30,40	35,57	49,21	62,86	77,65	87,51	97,38	107,24
22	0	9,14	13,71	23,11	27,81	43,90	60,00	74,06	83,44	92,81	102,19
23	0	8,44	12,67	23,46	28,86	43,26	57,67	74,81	86,24	97,67	109,10
24	0	9,17	13,76	26,46	32,81	45,93	59,05	74,14	84,21	94,27	104,33
25	0	12,92	19,38	27,73	31,90	43,93	55,95	69,29	78,17	87,06	95,95
26	0	12,25	18,38	27,17	31,57	43,76	55,95	70,98	81,01	91,03	101,05
27	0	10,54	15,81	23,49	27,33	43,17	59,00	73,10	82,49	91,89	101,29
28	0	8,51	12,76	20,22	23,95	39,38	54,81	68,57	77,75	86,92	96,10
29	0	10,67	16,00	25,02	29,52	43,52	57,52	71,24	80,38	89,52	98,67
30	0	11,37	17,05	24,54	28,29	42,07	55,86	69,54	78,66	87,78	96,90
31	0	10,00	15,00	24,43	29,14	40,98	52,81	65,75	74,37	82,99	91,62
32	0	10,70	16,05	26,49	31,71	45,81	59,90	71,65	79,48	87,31	95,14
33	0	9,40	14,10	28,32	35,43	50,83	66,24	78,92	87,38	95,83	104,29
34	0	9,62	14,43	27,10	33,43	44,45	55,48	68,78	77,65	86,51	95,38
35	0	9,43	14,14	24,43	29,57	39,55	49,52	63,63	73,04	82,45	91,86
36	0	10,35	15,52	28,60	35,14	47,57	60,00	76,70	87,83	98,96	110,10
37	0	12,41	18,62	29,00	34,19	49,21	64,24	78,17	87,47	96,76	106,05
38	0	9,30	13,95	22,11	26,19	41,81	57,43	70,06	78,49	86,91	95,33
39	0	9,68	14,52	23,19	27,52	45,57	63,62	78,76	88,86	98,95	109,05
40	0	8,67	13,00	22,02	26,52	43,57	60,62	72,40	80,25	88,10	95,95
41	0	10,29	15,43	24,25	28,67	41,64	54,62	65,16	72,19	79,21	86,24
42	0	8,76	13,14	22,79	27,62	43,64	59,67	73,22	82,26	91,30	100,33
43	0	9,56	14,33	23,29	27,76	44,88	62,00	75,78	84,96	94,15	103,33
44	0	13,75	20,62	27,16	30,43	44,90	59,38	75,62	86,44	97,27	108,10
45	0	11,59	17,38	25,54	29,62	44,98	60,33	72,02	79,80	87,59	95,38
46	0	8,06	12,10	19,49	23,19	35,43	47,67	64,49	75,71	86,93	98,14
47	0	7,94	11,90	24,13	30,24	46,43	62,62	76,67	86,03	95,40	104,76
48	0	10,38	15,57	25,63	30,67	48,38	66,10	79,65	88,69	97,72	106,76
49	0	14,54	21,81	30,22	34,43	47,55	60,67	74,19	83,21	92,22	101,24
50	0	7,11	10,67	23,02	29,19	47,12	65,05	80,70	91,13	101,57	112,00

### Método Cortar e Colar - Percentual de consumo do Pulmão do Projeto 1

Valores →	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Replicações											
51	0	8,32	12,48	21,14	25,48	37,67	49,86	66,29	77,24	88,19	99,14
52	0	6,67	10,00	19,05	23,57	38,36	53,14	66,94	76,13	85,33	94,52
53	0	7,94	11,90	25,56	32,38	47,55	62,71	73,63	80,92	88,20	95,48
54	0	12,19	18,29	29,21	34,67	46,36	58,05	72,46	82,07	91,68	101,29
55	0	10,98	16,48	24,32	28,24	44,43	60,62	74,75	84,16	93,58	103,00
56	0	7,97	11,95	22,71	28,10	37,98	47,86	61,52	70,63	79,75	88,86
57	0	7,33	11,00	19,51	23,76	37,14	50,52	66,35	76,90	87,45	98,00
58	0	8,38	12,57	21,08	25,33	37,67	50,00	63,37	72,28	81,19	90,10
59	0	10,67	16,00	25,43	30,14	45,64	61,14	76,00	85,90	95,81	105,71
60	0	8,57	12,86	24,63	30,52	43,57	56,62	71,38	81,22	91,06	100,90
61	0	9,56	14,33	24,17	29,10	46,21	63,33	77,00	86,11	95,22	104,33
62	0	9,08	13,62	23,97	29,14	42,79	56,43	72,81	83,73	94,65	105,57
63	0	10,06	15,10	25,35	30,48	46,86	63,24	79,67	90,62	101,57	112,52
64	0	8,10	12,14	20,65	24,90	35,38	45,86	59,49	68,58	77,67	86,76
65	0	10,35	15,52	23,37	27,29	42,71	58,14	73,67	84,02	94,37	104,71
66	0	9,08	13,62	22,16	26,43	42,50	58,57	74,19	84,60	95,02	105,43
67	0	11,62	17,43	25,75	29,90	41,48	53,05	67,67	77,41	87,16	96,90
68	0	10,51	15,76	25,48	30,33	41,26	52,19	64,17	72,16	80,15	88,14
69	0	14,16	21,24	31,24	36,24	51,21	66,19	79,98	89,18	98,38	107,57
70	0	8,25	12,38	22,13	27,00	42,55	58,10	72,41	81,96	91,50	101,05
71	0	9,30	13,95	24,11	29,19	43,40	57,62	70,83	79,63	88,43	97,24
72	0	9,68	14,52	24,08	28,86	40,62	52,38	65,27	73,86	82,46	91,05
73	0	8,67	13,00	22,24	26,86	44,64	62,43	75,71	84,57	93,43	102,29
74	0	7,30	10,95	20,89	25,86	36,76	47,67	61,17	70,18	79,19	88,19
75	0	10,35	15,52	25,05	29,81	40,74	51,67	65,62	74,92	84,22	93,52
76	0	8,95	13,43	26,19	32,57	46,60	60,62	73,16	81,52	89,88	98,24
77	0	10,67	16,00	26,83	32,24	50,14	68,05	81,48	90,43	99,38	108,33
78	0	11,62	17,43	26,48	31,00	41,64	52,29	67,79	78,13	88,47	98,81
79	0	9,90	14,86	26,38	32,14	42,88	53,62	67,33	76,48	85,62	94,76
80	0	8,00	12,00	23,90	29,86	41,36	52,86	64,57	72,38	80,19	88,00
81	0	8,86	13,29	22,27	26,76	46,29	65,81	80,56	90,39	100,22	110,05
82	0	10,60	15,90	28,13	34,24	47,93	61,62	73,92	82,12	90,32	98,52
83	0	13,71	20,57	29,75	34,33	49,45	64,57	79,49	89,44	99,39	109,33
84	0	9,24	13,86	23,51	28,33	40,74	53,14	65,17	73,20	81,22	89,24
85	0	8,89	13,33	26,35	32,86	47,67	62,48	74,38	82,32	90,25	98,19
86	0	10,83	16,24	25,76	30,52	48,50	66,48	81,29	91,16	101,03	110,90
87	0	8,35	12,52	21,32	25,71	43,02	60,33	78,35	90,36	102,37	114,38
88	0	9,08	13,62	23,43	28,33	39,00	49,67	60,83	68,26	75,70	83,14
89	0	12,16	18,24	27,29	31,81	43,69	55,57	70,44	80,36	90,28	100,19
90	0	10,38	15,57	26,30	31,67	42,07	52,48	68,38	78,98	89,59	100,19
91	0	11,08	16,62	24,46	28,38	42,19	56,00	69,33	78,22	87,11	96,00
92	0	12,51	18,76	28,79	33,81	49,02	64,24	81,81	93,52	105,24	116,95
93	0	9,43	14,14	22,21	26,24	40,64	55,05	68,41	77,32	86,23	95,14
94	0	11,68	17,52	27,81	32,95	49,31	65,67	80,24	89,95	99,67	109,38
95	0	10,98	16,48	26,35	31,29	43,29	55,29	66,54	74,04	81,54	89,05
96	0	10,89	16,33	27,22	32,67	47,52	62,38	77,41	87,43	97,46	107,48
97	0	8,98	13,48	22,87	27,57	44,71	61,86	76,46	86,20	95,93	105,67
98	0	8,63	12,95	20,54	24,33	41,02	57,71	72,83	82,90	92,97	103,05
99	0	10,32	15,48	25,67	30,76	41,00	51,24	66,92	77,38	87,83	98,29
100	0	14,22	21,33	32,03	37,38	52,00	66,62	81,00	90,59	100,17	109,76

**Método Cortar e Colar - Percentual consumo do Pulmão acima da faixa Amarela-Vermelha**

Percentual de recuperação →	2		igual a		10,08		horas extras					
Valores →	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Replicações												
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,79	5,35	8,71	12,06
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	2,51
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	2,95
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,86
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,34	4,91	6,48
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,21	2,50	2,80	3,10
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	3,85	5,70	7,56
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	6,67	7,11	7,56	8,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	2,78	3,57	4,35
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,38	9,92	11,61	13,31	15,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	3,24	4,48	5,71
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	3,76	5,51	7,27
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,76	11,40	13,15	14,91	16,67
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,27	5,05
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,57	4,16	5,76
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,65	7,51	9,38	11,24
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	3,44	4,81	6,19
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,81	6,24	9,67	13,10
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,14	4,21	6,27	8,33
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	2,89	3,78
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,01	5,03	7,05
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	3,40	4,79	6,19
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,92	4,10
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	3,52	4,67
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	3,12	4,24
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	1,83	1,83
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	6,68	7,14	7,59	8,05
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,51	3,38
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,70	7,83	10,96	14,10
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,17	7,47	8,76	10,05
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	2,42	2,85
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,76	8,86	10,95	13,05
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	1,85	1,85	1,85
41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	3,04	4,07	5,11
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,78	4,96	6,15	7,33
44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,62	6,44	9,27	12,10
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,79	1,79	1,79
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,93	6,14
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,67	6,03	7,40	8,76
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	7,56	8,59	9,63	10,67
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,19	3,21	4,22	5,24
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,70	11,13	13,57	16,00

**Método Cortar e Colar - Percentual consumo do Pulmão acima da faixa Amarela-Vermelha**

Percentual de recuperação →	2		igual a		10,08		horas extras					
Valores →	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Replicações												
51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,19	7,14	
52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	3,20	
53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	1,28	1,28	1,28	
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	3,61	5,22	6,83	
55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	4,16	5,58	7,00	
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,45	6,00	
58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	
59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	5,90	7,81	9,71	
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,22	5,06	6,90	
61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	6,11	7,22	8,33	
62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	4,92	7,84	10,76	
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,67	10,62	13,57	16,52	
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	4,35	6,70	9,05	
66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,19	4,60	7,02	9,43	
67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16	4,90	
68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	7,79	8,99	10,19	11,38	
70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	3,54	5,09	6,63	
71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	2,80	3,61	
72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	
73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,71	4,57	5,43	6,29	
74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	3,30	
76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	2,36	2,72	3,08	
77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,05	7,48	8,43	9,38	
78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	4,34	6,68	
79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	3,14	
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,56	10,39	12,22	14,05	
82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92	2,20	2,40	2,60	
83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,49	9,44	11,39	13,33	
84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,38	2,32	2,25	2,19	
86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	8,81	10,68	12,56	14,43	
87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	10,36	14,37	18,38	
88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,36	4,28	6,19	
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	4,60	7,21	
91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	2,89	3,78	
92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,81	13,52	17,24	20,95	
93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,23	3,14	
94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,24	9,95	11,67	13,38	
95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,41	7,43	9,46	11,48	
97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,46	6,20	7,93	9,67	
98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	4,07	6,15	8,22	
99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,83	6,29	
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	8,38	9,97	11,56	13,14	

### Método Cortar e Colar - Percentual do Pulmão recuperado por período

Percentual de recuperação →	2		igual a		10,08		horas extras					
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Replicações												
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,79	2,00	2,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,00	2,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	2,00	2,00	2,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	2,00	2,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	2,00	2,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,44	2,00	2,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	2,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	2,00	2,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	2,00
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	1,83
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	2,00	2,00	2,00
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	2,00
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	1,85	1,85
41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	2,00	2,00
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,79	1,79
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	2,00	2,00	2,00
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00

### Método Cortar e Colar - Percentual do Pulmão recuperado por período

Percentual de recuperação →	2		igual a		10,08		horas extras					
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Replicações												
51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,33	
53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	1,28	1,28	
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	2,00	2,00	
55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	
61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81	2,00	2,00	
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67	2,00	2,00	
66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	2,00	2,00	
70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	2,00	2,00	
71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	2,00	
72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	
76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	2,00	2,00	
77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	2,00	
79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92	2,00	2,00	
83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	2,00	2,00	2,00	
87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	2,00	
91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	2,00	
92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	
98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83	2,00	2,00	
99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	2,00	2,00	2,00	

### Método Cortar e Colar - Horas extras para recuperar o consumo do Pulmão

Percentual de recuperação →	2		igual a		10,08		horas extras				
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Replicações											
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,04	10,08	10,08
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	10,08	10,08
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,36	10,08	10,08	10,08
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,08	10,08	10,08
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08	10,08
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,24	10,08	10,08
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,28	10,08	10,08
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08	10,08
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	10,08
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,52	10,08	10,08
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,33	10,08
31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,47	9,23
33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	10,08	10,08	10,08
34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45	10,08
39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	9,33	9,33
41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,16	10,08	10,08
43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	9,01	9,01
46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08
47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	10,08	10,08	10,08
49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08

### Método Cortar e Colar - Horas extras para recuperar o consumo do Pulmão

Percentual de recuperação →	2		igual a		10,08		horas extras				
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Replicações											
51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08
52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,69
53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,24	6,45	6,45
54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,32	10,08	10,08
55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08
58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08
61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,08	10,08	10,08
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	10,08	10,08
66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08
68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	10,08	10,08	10,08
70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	10,08	10,08
71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,21	10,08
72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12
76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,84	10,08	10,08
77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08	10,08
78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	10,08
79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,16
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,68	10,08	10,08
83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,40	10,08	10,08	10,08
87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,96	10,08
91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	10,08
92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08
94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08	10,08	10,08
98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,16	10,08	10,08
99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,08
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,12	10,08	10,08	10,08

### Método Cortar e Colar - Percentual de consumo do Pulmão após recuperação

Percentual de recuperação →	2		igual a		10,08		horas extras					
Valores →	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Replicações												
1	0,00	8,44	12,67	22,48	27,38	39,05	50,71	63,43	71,90	80,38	88,86	
2	0,00	11,11	16,67	26,22	31,00	43,88	56,76	73,79	83,35	92,71	102,06	
3	0,00	13,21	19,81	27,87	31,90	43,29	54,67	67,43	75,94	84,44	92,51	
4	0,00	12,32	18,48	25,97	29,71	41,36	53,00	66,43	75,38	84,33	92,95	
5	0,00	8,51	12,76	20,13	23,81	34,24	44,67	60,06	70,33	80,59	90,86	
6	0,00	8,00	12,00	21,14	25,71	41,57	57,43	71,78	81,34	88,91	96,48	
7	0,00	8,86	13,29	21,13	25,05	35,57	46,10	59,30	68,11	76,91	85,71	
8	0,00	9,81	14,71	23,48	27,86	40,90	53,95	66,52	74,90	83,29	91,67	
9	0,00	9,56	14,33	25,00	30,33	46,05	61,76	74,21	80,50	86,80	93,10	
10	0,00	10,70	16,05	27,16	32,71	44,98	57,24	72,02	81,85	89,70	97,56	
11	0,00	11,81	17,71	29,78	35,81	51,24	66,67	78,67	85,11	91,56	98,00	
12	0,00	10,73	16,10	26,67	31,95	46,19	60,43	73,60	80,78	87,57	94,35	
13	0,00	10,38	15,57	24,37	28,76	49,07	69,38	81,92	89,61	97,31	105,00	
14	0,00	8,25	12,38	19,24	22,67	36,71	50,76	63,38	71,79	80,21	88,62	
15	0,00	11,56	17,33	25,97	30,29	44,83	59,38	73,24	81,24	88,48	95,71	
16	0,00	9,17	13,76	22,81	27,33	38,52	49,71	62,67	71,30	79,94	88,57	
17	0,00	12,16	18,24	27,51	32,14	45,48	58,81	73,44	81,76	89,51	97,27	
18	0,00	12,22	18,33	30,24	36,19	53,48	70,76	83,40	91,15	98,91	106,67	
19	0,00	11,62	17,43	27,05	31,86	42,45	53,05	67,71	77,49	87,27	95,05	
20	0,00	7,97	11,95	19,54	23,33	39,95	56,57	70,97	80,57	88,16	95,76	
21	0,00	13,37	20,05	30,40	35,57	49,21	62,86	77,65	85,51	93,38	101,24	
22	0,00	9,14	13,71	23,11	27,81	43,90	60,00	74,06	81,44	88,81	96,19	
23	0,00	8,44	12,67	23,46	28,86	43,26	57,67	74,81	84,24	93,67	103,10	
24	0,00	9,17	13,76	26,46	32,81	45,93	59,05	74,14	82,21	90,27	98,33	
25	0,00	12,92	19,38	27,73	31,90	43,93	55,95	69,29	78,17	86,89	93,78	
26	0,00	12,25	18,38	27,17	31,57	43,76	55,95	70,98	81,01	89,03	97,05	
27	0,00	10,54	15,81	23,49	27,33	43,17	59,00	73,10	81,40	88,79	96,19	
28	0,00	8,51	12,76	20,22	23,95	39,38	54,81	68,57	77,75	86,92	94,10	
29	0,00	10,67	16,00	25,02	29,52	43,52	57,52	71,24	80,38	87,52	94,67	
30	0,00	11,37	17,05	24,54	28,29	42,07	55,86	69,54	78,66	87,12	94,24	
31	0,00	10,00	15,00	24,43	29,14	40,98	52,81	65,75	74,37	82,99	91,62	
32	0,00	10,70	16,05	26,49	31,71	45,81	59,90	71,65	79,48	85,83	91,83	
33	0,00	9,40	14,10	28,32	35,43	50,83	66,24	78,68	85,14	91,59	98,05	
34	0,00	9,62	14,43	27,10	33,43	44,45	55,48	68,78	77,65	86,51	93,38	
35	0,00	9,43	14,14	24,43	29,57	39,55	49,52	63,63	73,04	82,45	91,86	
36	0,00	10,35	15,52	28,60	35,14	47,57	60,00	76,70	85,83	94,96	104,10	
37	0,00	12,41	18,62	29,00	34,19	49,21	64,24	78,17	85,47	92,76	100,05	
38	0,00	9,30	13,95	22,11	26,19	41,81	57,43	70,06	78,49	86,42	92,85	
39	0,00	9,68	14,52	23,19	27,52	45,57	63,62	78,76	86,86	94,95	103,05	
40	0,00	8,67	13,00	22,02	26,52	43,57	60,62	72,40	79,85	85,85	91,85	
41	0,00	10,29	15,43	24,25	28,67	41,64	54,62	65,16	72,19	79,21	86,24	
42	0,00	8,76	13,14	22,79	27,62	43,64	59,67	73,22	81,04	88,07	95,11	
43	0,00	9,56	14,33	23,29	27,76	44,88	62,00	75,78	82,96	90,15	97,33	
44	0,00	13,75	20,62	27,16	30,43	44,90	59,38	75,62	84,44	93,27	102,10	
45	0,00	11,59	17,38	25,54	29,62	44,98	60,33	72,02	79,79	85,79	91,79	
46	0,00	8,06	12,10	19,49	23,19	35,43	47,67	64,49	75,71	86,93	96,14	
47	0,00	7,94	11,90	24,13	30,24	46,43	62,62	76,67	84,03	91,40	98,76	
48	0,00	10,38	15,57	25,63	30,67	48,38	66,10	79,56	86,59	93,63	100,67	
49	0,00	14,54	21,81	30,22	34,43	47,55	60,67	74,19	81,21	88,22	95,24	
50	0,00	7,11	10,67	23,02	29,19	47,12	65,05	80,70	89,13	97,57	106,00	

### Método Cortar e Colar - Percentual de consumo do Pulmão após recuperação

Percentual de recuperação →	2		igual a		10,08		horas extras					
Valores →	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	
Períodos →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Replicações												
51	0,00	8,32	12,48	21,14	25,48	37,67	49,86	66,29	77,24	88,19	97,14	
52	0,00	6,67	10,00	19,05	23,57	38,36	53,14	66,94	76,13	85,33	93,20	
53	0,00	7,94	11,90	25,56	32,38	47,55	62,71	73,63	79,28	85,28	91,28	
54	0,00	12,19	18,29	29,21	34,67	46,36	58,05	72,46	81,61	89,22	96,83	
55	0,00	10,98	16,48	24,32	28,24	44,43	60,62	74,75	82,16	89,58	97,00	
56	0,00	7,97	11,95	22,71	28,10	37,98	47,86	61,52	70,63	79,75	88,86	
57	0,00	7,33	11,00	19,51	23,76	37,14	50,52	66,35	76,90	87,45	96,00	
58	0,00	8,38	12,57	21,08	25,33	37,67	50,00	63,37	72,28	81,19	90,10	
59	0,00	10,67	16,00	25,43	30,14	45,64	61,14	76,00	83,90	91,81	99,71	
60	0,00	8,57	12,86	24,63	30,52	43,57	56,62	71,38	81,22	89,06	96,90	
61	0,00	9,56	14,33	24,17	29,10	46,21	63,33	77,00	84,11	91,22	98,33	
62	0,00	9,08	13,62	23,97	29,14	42,79	56,43	72,81	82,92	91,84	100,76	
63	0,00	10,06	15,10	25,35	30,48	46,86	63,24	79,67	88,62	97,57	106,52	
64	0,00	8,10	12,14	20,65	24,90	35,38	45,86	59,49	68,58	77,67	86,76	
65	0,00	10,35	15,52	23,37	27,29	42,71	58,14	73,67	82,35	90,70	99,05	
66	0,00	9,08	13,62	22,16	26,43	42,50	58,57	74,19	82,60	91,02	99,43	
67	0,00	11,62	17,43	25,75	29,90	41,48	53,05	67,67	77,41	87,16	94,90	
68	0,00	10,51	15,76	25,48	30,33	41,26	52,19	64,17	72,16	80,15	88,14	
69	0,00	14,16	21,24	31,24	36,24	51,21	66,19	79,79	86,99	94,19	101,38	
70	0,00	8,25	12,38	22,13	27,00	42,55	58,10	72,41	81,54	89,09	96,63	
71	0,00	9,30	13,95	24,11	29,19	43,40	57,62	70,83	79,63	86,80	93,61	
72	0,00	9,68	14,52	24,08	28,86	40,62	52,38	65,27	73,86	82,46	91,05	
73	0,00	8,67	13,00	22,24	26,86	44,64	62,43	75,71	82,57	89,43	96,29	
74	0,00	7,30	10,95	20,89	25,86	36,76	47,67	61,17	70,18	79,19	88,19	
75	0,00	10,35	15,52	25,05	29,81	40,74	51,67	65,62	74,92	84,22	93,30	
76	0,00	8,95	13,43	26,19	32,57	46,60	60,62	73,16	80,36	86,72	93,08	
77	0,00	10,67	16,00	26,83	32,24	50,14	68,05	79,48	86,43	93,38	100,33	
78	0,00	11,62	17,43	26,48	31,00	41,64	52,29	67,79	78,13	88,34	96,68	
79	0,00	9,90	14,86	26,38	32,14	42,88	53,62	67,33	76,48	85,62	93,14	
80	0,00	8,00	12,00	23,90	29,86	41,36	52,86	64,57	72,38	80,19	88,00	
81	0,00	8,86	13,29	22,27	26,76	46,29	65,81	80,56	88,39	96,22	104,05	
82	0,00	10,60	15,90	28,13	34,24	47,93	61,62	73,92	80,20	86,40	92,60	
83	0,00	13,71	20,57	29,75	34,33	49,45	64,57	79,49	87,44	95,39	103,33	
84	0,00	9,24	13,86	23,51	28,33	40,74	53,14	65,17	73,20	81,22	89,24	
85	0,00	8,89	13,33	26,35	32,86	47,67	62,48	74,38	80,32	86,25	92,19	
86	0,00	10,83	16,24	25,76	30,52	48,50	66,48	80,81	88,68	96,56	104,43	
87	0,00	8,35	12,52	21,32	25,71	43,02	60,33	78,35	88,36	98,37	108,38	
88	0,00	9,08	13,62	23,43	28,33	39,00	49,67	60,83	68,26	75,70	83,14	
89	0,00	12,16	18,24	27,29	31,81	43,69	55,57	70,44	80,36	88,28	96,19	
90	0,00	10,38	15,57	26,30	31,67	42,07	52,48	68,38	78,98	88,60	97,21	
91	0,00	11,08	16,62	24,46	28,38	42,19	56,00	69,33	78,22	86,89	93,78	
92	0,00	12,51	18,76	28,79	33,81	49,02	64,24	81,81	91,52	101,24	110,95	
93	0,00	9,43	14,14	22,21	26,24	40,64	55,05	68,41	77,32	86,23	93,14	
94	0,00	11,68	17,52	27,81	32,95	49,31	65,67	80,24	87,95	95,67	103,38	
95	0,00	10,98	16,48	26,35	31,29	43,29	55,29	66,54	74,04	81,54	89,05	
96	0,00	10,89	16,33	27,22	32,67	47,52	62,38	77,41	85,43	93,46	101,48	
97	0,00	8,98	13,48	22,87	27,57	44,71	61,86	76,46	84,20	91,93	99,67	
98	0,00	8,63	12,95	20,54	24,33	41,02	57,71	72,83	82,07	90,15	98,22	
99	0,00	10,32	15,48	25,67	30,76	41,00	51,24	66,92	77,38	87,83	96,29	
100	0,00	14,22	21,33	32,03	37,38	52,00	66,62	80,38	87,97	95,56	103,14	

## Método Cortar e Colar - Indicadores referentes à recuperação do Pulmão

21 dias é a referência para o cálculo dos indicadores (Corrente Crítica + Pulmão de Projeto)						
Repetições	Percentual recuperado	Horas extras trabalhadas	Percentual acima dos 100%	Horas não recuperadas	Lead time antes da recuperação	Lead time após recuperação
1	0,00	0,00	0,00	0,00	18,66	18,66
2	5,79	29,20	2,06	10,40	22,65	21,43
3	0,44	2,24	0,00	0,00	19,52	19,43
4	0,33	1,68	0,00	0,00	19,59	19,52
5	0,00	0,00	0,00	0,00	19,08	19,08
6	4,00	20,16	0,00	0,00	21,10	20,26
7	0,00	0,00	0,00	0,00	18,00	18,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	19,25	19,25
9	6,00	30,24	0,00	0,00	20,81	19,55
10	4,02	20,24	0,00	0,00	21,33	20,49
11	6,67	33,60	0,00	0,00	21,98	20,58
12	5,60	28,24	0,00	0,00	20,99	19,81
13	8,00	40,32	5,00	25,20	23,73	22,05
14	0,00	0,00	0,00	0,00	18,61	18,61
15	5,24	26,40	0,00	0,00	21,20	20,10
16	0,00	0,00	0,00	0,00	18,60	18,60
17	5,44	27,44	0,00	0,00	21,57	20,43
18	8,00	40,32	6,67	33,60	24,08	22,40
19	2,00	10,08	0,00	0,00	20,38	19,96
20	4,00	20,16	0,00	0,00	20,95	20,11
21	6,00	30,24	1,24	6,24	22,52	21,26
22	6,00	30,24	0,00	0,00	21,46	20,20
23	6,00	30,24	3,10	15,60	22,91	21,65
24	6,00	30,24	0,00	0,00	21,91	20,65
25	2,17	10,96	0,00	0,00	20,15	19,69
26	4,00	20,16	0,00	0,00	21,22	20,38
27	5,10	25,68	0,00	0,00	21,27	20,20
28	2,00	10,08	0,00	0,00	20,18	19,76
29	4,00	20,16	0,00	0,00	20,72	19,88
30	2,66	13,41	0,00	0,00	20,35	19,79
31	0,00	0,00	0,00	0,00	19,24	19,24
32	3,31	16,69	0,00	0,00	19,98	19,28
33	6,24	31,44	0,00	0,00	21,90	20,59
34	2,00	10,08	0,00	0,00	20,03	19,61
35	0,00	0,00	0,00	0,00	19,29	19,29
36	6,00	30,24	4,10	20,64	23,12	21,86
37	6,00	30,24	0,05	0,24	22,27	21,01
38	2,49	12,53	0,00	0,00	20,02	19,50
39	6,00	30,24	3,05	15,36	22,90	21,64
40	4,10	20,67	0,00	0,00	20,15	19,29
41	0,00	0,00	0,00	0,00	18,11	18,11
42	5,22	26,32	0,00	0,00	21,07	19,97
43	6,00	30,24	0,00	0,00	21,70	20,44
44	6,00	30,24	2,10	10,56	22,70	21,44
45	3,59	18,11	0,00	0,00	20,03	19,28
46	2,00	10,08	0,00	0,00	20,61	20,19
47	6,00	30,24	0,00	0,00	22,00	20,74
48	6,10	30,72	0,67	3,36	22,42	21,14
49	6,00	30,24	0,00	0,00	21,26	20,00
50	6,00	30,24	6,00	30,24	23,52	22,26

## Método Cortar e Colar - Indicadores referentes à recuperação do Pulmão

21 dias é a referência para o cálculo dos indicadores (Corrente Crítica + Pulmão de Projeto)						
Repetições	Percentual recuperado	Horas extras trabalhadas	Percentual acima dos 100%	Horas não recuperadas	Lead time antes da recuperação	Lead time após recuperação
51	2,00	10,08	0,00	0,00	20,82	20,40
52	1,33	6,69	0,00	0,00	19,85	19,57
53	4,20	21,15	0,00	0,00	20,05	19,17
54	4,46	22,48	0,00	0,00	21,27	20,33
55	6,00	30,24	0,00	0,00	21,63	20,37
56	0,00	0,00	0,00	0,00	18,66	18,66
57	2,00	10,08	0,00	0,00	20,58	20,16
58	0,00	0,00	0,00	0,00	18,92	18,92
59	6,00	30,24	0,00	0,00	22,20	20,94
60	4,00	20,16	0,00	0,00	21,19	20,35
61	6,00	30,24	0,00	0,00	21,91	20,65
62	4,81	24,24	0,76	3,84	22,17	21,16
63	6,00	30,24	6,52	32,88	23,63	22,37
64	0,00	0,00	0,00	0,00	18,22	18,22
65	5,67	28,56	0,00	0,00	21,99	20,80
66	6,00	30,24	0,00	0,00	22,14	20,88
67	2,00	10,08	0,00	0,00	20,35	19,93
68	0,00	0,00	0,00	0,00	18,51	18,51
69	6,19	31,20	1,38	6,96	22,59	21,29
70	4,41	22,24	0,00	0,00	21,22	20,29
71	3,63	18,29	0,00	0,00	20,42	19,66
72	0,00	0,00	0,00	0,00	19,12	19,12
73	6,00	30,24	0,00	0,00	21,48	20,22
74	0,00	0,00	0,00	0,00	18,52	18,52
75	0,22	1,12	0,00	0,00	19,64	19,59
76	5,16	26,00	0,00	0,00	20,63	19,55
77	8,00	40,32	0,33	1,68	22,75	21,07
78	2,13	10,75	0,00	0,00	20,75	20,30
79	1,62	8,16	0,00	0,00	19,90	19,56
80	0,00	0,00	0,00	0,00	18,48	18,48
81	6,00	30,24	4,05	20,40	23,11	21,85
82	5,92	29,84	0,00	0,00	20,69	19,45
83	6,00	30,24	3,33	16,80	22,96	21,70
84	0,00	0,00	0,00	0,00	18,74	18,74
85	6,00	30,24	0,00	0,00	20,62	19,36
86	6,48	32,64	4,43	22,32	23,29	21,93
87	6,00	30,24	8,38	42,24	24,02	22,76
88	0,00	0,00	0,00	0,00	17,46	17,46
89	4,00	20,16	0,00	0,00	21,04	20,20
90	2,98	15,04	0,00	0,00	21,04	20,41
91	2,22	11,20	0,00	0,00	20,16	19,69
92	6,00	30,24	10,95	55,20	24,56	23,30
93	2,00	10,08	0,00	0,00	19,98	19,56
94	6,00	30,24	3,38	17,04	22,97	21,71
95	0,00	0,00	0,00	0,00	18,70	18,70
96	6,00	30,24	1,48	7,44	22,57	21,31
97	6,00	30,24	0,00	0,00	22,19	20,93
98	4,83	24,32	0,00	0,00	21,64	20,63
99	2,00	10,08	0,00	0,00	20,64	20,22
100	6,62	33,36	3,14	15,84	23,05	21,66