LUCAS TUNIS MARTINS VELOZA

**Determinação do prazo ótimo teórico
em orçamentos de obras em função
da redução dos custos**

São Paulo

2021

LUCAS TUNIS MARTINS VELOZA

**Determinação do prazo ótimo teórico
em orçamentos de obras em função
da redução dos custos**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador: Prof. Dr. Flávio Leal
Maranhão

São Paulo

2021

LUCAS TUNIS MARTINS VELOZA

**Determinação do prazo ótimo teórico
em orçamentos de obras em função
da redução dos custos**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de concentração: Inovação na
Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Flávio Leal
Maranhão

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catlogação-na-publicação

Veloza, Lucas Tunis M.

Determinação do prazo ótimo teórico em orçamentos de obras em função da redução dos custos / L. T. M. Velloza -- versão corr. -- São Paulo, 2021.
135 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.tempo-custo trade-off 2.planejamento de obras 3.cronograma de projetos 4.gerenciamento de obras I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

Nome: VELOZA, Lucas Tunis Martins

Título: Determinação do prazo ótimo teórico em orçamentos de obras em função da redução dos custos

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Dedico este trabalho
a Sergio Tunis e Ivonir Veloza

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus.

Agradeço ao meu pai, Sergio Tunis, por ser minha referência de vida e da profissão de Engenharia Civil.

Agradeço à minha mãe, Ivonir, por seus conselhos e por nunca me deixar desistir.

Agradeço ao meu irmão, Sergio Tunis, pelas valiosas dicas acadêmicas.

Agradeço à minha família em geral, tias, primos, avós, e aos meus amigos.

Agradeço aos meus companheiros de profissão, pelo conhecimento compartilhado que não se encontra em livros. Em especial, aos meus amigos Márcio Baptista e Mestre Luiz Gonzaga.

Agradeço ao professor Flávio Maranhão, pelas valiosas dicas, orientação e amizade. A sua mescla de experiência profissional e acadêmica foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço ao Programa Construinova e à USP, pela oportunidade de fazer com que profissionais com experiência consigam migrar ao mundo acadêmico. Não tenho dúvidas de que ótimos frutos serão gerados.

RESUMO

Ao longo dos anos, fica cada vez mais perceptível a valorização de técnicas de planejamento e gestão de obras visando melhorar a confiabilidade de cronogramas, prazos e estimativas de resultado dos projetos. Com a competitividade acentuada em que o mercado da construção se encontra, a precisão e a utilização desses recursos fazem-se fundamentais e necessárias para a sobrevivência e a diferenciação das empresas.

No desenvolvimento do orçamento e planejamento dos projetos, são calculados os custos diretos e indiretos que totalizam o projeto. Os custos diretos são aqueles que estão diretamente ligados aos serviços em si. Já os indiretos, não, são os custos necessários na empresa para o desenvolvimento e o apoio das atividades em geral.

O ponto-chave é que qualquer um desses custos é variável, dependente do fator tempo. Os custos indiretos possuem a característica de variar proporcionalmente ao tempo; e os diretos, de variar inversamente. Desta maneira, sabendo destas características específicas, pode-se chegar à conclusão de que, em um determinado tempo – tempo ou prazo ótimo, os custos totais do projeto podem totalizar o menor valor possível, e é em torno da estimativa deste tempo ótimo que o trabalho pretende ser desenvolvido. Elaborando um método para que empresas e orçamentistas possam ter um ponto de partida para o cálculo do tempo ótimo e ferramentas para analisar as características de variabilidade dos custos-prazos para cada um de seus projetos de construção.

A metodologia de pesquisa será balizada inicialmente no desenvolvimento de um método teórico que posteriormente será validado através da aplicação em dois projetos reais.

Palavras-chave: tempo-custo *trade-off*; planejamento de obras; cronograma de projetos; gerenciamento de obras.

ABSTRACT

Over the years, the valorization of construction planning and management techniques in order to improve the reliability of project schedules, deadlines and result estimates, is increasingly noticeable. The increased competitiveness that the construction market is facing makes that the precision and use of these resources be essential and necessary for the survival and differentiation of companies.

In the development of the budget and planning of the projects, the direct and indirect costs are calculated and make up the final value of the project. Direct costs are those that are directly linked to the services themselves, while indirect costs are the costs necessary in the company for the development and support of activities in general.

The key point is that any of these costs are time dependent variables, indirect costs have the characteristic of varying proportionally to time and direct costs of varying inversely. Thus, knowing these specific characteristics, it can be concluded that in a given time - optimal time or deadline, the total costs of the project can result the lowest possible value, and it is around the estimate of this optimum time that the work it intends to be developed. Thus developing a method so that companies and budgeters can have a starting point for calculating the optimum time and resources to analyze the characteristics of cost-term variability for each of their projects. The validation and explanation of the application of the method will be done through application in two real construction projects.

The research methodology will initially be guided by the development of a theoretical method that will later be validated through the application in two real projects.

Keywords: time-cost trade-off; construction planning; project scheduling; construction management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas fundamentais do orçamento. Adaptado – Mattos (2006).....	32
Figura 2 – Subcategorização de análises de <i>trade-off</i> . Adaptado – Hegazy (1999)	43
Figura 3 – Perfil da ponte a ser construída. Fonte: Autor	70
Figura 4 – Exemplo de metodologia de execução de estacas escavadas.	70
Figura 5 – Exemplo de metodologia executiva de blocos. Fonte: Autor	71
Figura 6 – Pilares executados em formas trepantes – Lances de concretagem. Fonte: Autor.....	72
Figura 7 – Travessas moldadas <i>in loco</i> – Vista superior do Pilar. Fonte: Autor	73
Figura 8 – Seção típica das vigas pré-moldadas e protendidas. Fonte: Autor	73
Figura 9 – Seção transversal de vigas pré-moldadas. Fonte: Autor.....	74
Figura 10 – Carrelones para o transporte de vigas pré-fabricadas. Fonte: Autor	74
Figura 11 – Trelça lançadeira de vigas. Fonte: Autor	75
Figura 12 – Tabuleiro da ponte, nas zonas de aproximação do vão central. Fonte: Autor.....	75
Figura 13 – Metodologia executiva dos balanços sucessivos. Fonte: Autor.....	76
Figura 14 – Metodologia executiva dos balanços sucessivos. Fonte: Autor.....	76
Figura 15 – Balanços sucessivos. Fonte: Autor.....	77
Figura 16 – Planilha de Cálculo dos custos variáveis.....	91
Figura 17 - Cronograma Prazo Previsto x Adotado = Prazo Ótimo	95
Figura 18 – Planta do condomínio de casas (exemplo).....	97
Figura 19 – Planilha de Cálculo dos Custos Variáveis	109
Figura 20 - Cronograma Prazo Previsto x Adotado = Prazo Ótimo	114
Figura 21 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	124
Figura 22 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	125
Figura 23 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	126
Figura 24 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	127
Figura 25 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	128
Figura 26 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	129
Figura 27 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	130
Figura 28 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	131
Figura 29 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	132
Figura 30 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	133
Figura 31 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	134
Figura 32 - Cronograma Ponte 1,6 Km.....	135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Objetivos do trabalho.....	21
Quadro 2 - Metodologia do trabalho	22
Quadro 3 – Atividades intermediárias x resultados esperados.....	23
Quadro 4 – Exemplo de composição de serviço	33
Quadro 5 – Composição de Serviço – Concreto 40 Mpa	34
Quadro 6 – Planilha de levantamento x composições de custo	35
Quadro 7 – Valores dos custos x prazos utilizados no algoritmo. Adaptado - Feng (1997)	42
Quadro 8 – Valores dos custos x prazos utilizados no algoritmo. Fonte: Chassiakos (2005)	44
Quadro 9 – Variação dos custos x variação do prazo	47
Quadro 10 – Variação dos custos x variação do prazo	48
Quadro 11 – Variabilidade HH x prazo	51
Quadro 12 – Indicadores da Equação de Prazo Ótimo	53
Quadro 13 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo	63
Quadro 14 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item M't ..	77
Quadro 15 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item M't ..	78
Quadro 16 – Quantitativo de resumo de serviços.....	78
Quadro 17 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item Sm ..	79
Quadro 18 – Resumo dos principais materiais da Obra	80
Quadro 19 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item Mat'0	80
Quadro 20 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Itens Eq't e C.....	81
Quadro 21 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Itens Eq't e C.....	81
Quadro 22 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item C't ..	82
Quadro 23 – Identificação dos custos do efetivo indireto mensal médio	83
Quadro 24 – Identificação das despesas indiretas médias de canteiro e apoio	83
Quadro 25 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item A.. ..	84
Quadro 26 – Identificação do fator de rescisão (A)	85
Quadro 27 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item B.. ..	85
Quadro 28 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item D.. ..	86
Quadro 29 – Identificação do item D – custos variáveis de canteiro	86
Quadro 30 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item E.. ..	86
Quadro 31 – Identificação dos custos médios de treinamento por funcionário.....	86
Quadro 32 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item F.. ..	87
Quadro 33 – Identificação dos custos fixos e variáveis do Item F	87
Quadro 34 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item G.. ..	87
Quadro 35 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item H.. ..	88
Quadro 36 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item R.. ..	89
Quadro 37 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item S.. ..	89
Quadro 38 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item K.. ..	90
Quadro 39 – Identificação do fator de pico K.....	90
Quadro 40 – Tabela de resumo de Indicadores da Equação de Prazo Ótimo	90
Quadro 41 – Cálculo da economia gerada pelo método	94
Quadro 42 – Cálculo da economia máxima gerada pelo método	94
Quadro 43 – Cálculo da zona de potencial de inovação	96

Quadro 44 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item M't 98	
Quadro 45 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item M't 99	
Quadro 46 – Quantitativo de resumo de serviços.....	99
Quadro 47 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item Sm	
.....	100
Quadro 48 – Quadro de resumo com principais materiais da Obra.....	100
Quadro 49 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item Mat'0	
.....	101
Quadro 50 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Itens Eq't e C.....	101
Quadro 51 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item C't	
.....	102
Quadro 52 – Identificação dos custos do efetivo indireto mensal médio	102
Quadro 53 – Identificação das despesas indiretas médias de canteiro e apoio	102
Quadro 54 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item A	103
Quadro 55 – Identificação do fator de rescisão (A)	104
Quadro 56 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item B	104
Quadro 57 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item D	104
Quadro 58 – Identificação do Item D – custos variáveis de canteiro	105
Quadro 59 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item E	105
Quadro 60 – Identificação dos custos médios de treinamento por funcionário.....	105
Quadro 61 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item F	105
Quadro 62 – Identificação dos custos fixos e variáveis do Item F	106
Quadro 63 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item G	106
Quadro 64 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item H	107
Quadro 65 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item R	107
Quadro 66 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item S	107
Quadro 67 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item K	107
Quadro 68 – Identificação do fator de pico K.....	108
Quadro 69 – Tabela de resumo de Indicadores da Equação de Prazo Ótimo	108
Quadro 70 – Cálculo da economia gerada pelo método	112
Quadro 71 – Composição de serviço – Aço CA-50	121
Quadro 72 – Composição de serviço – Lançamento de pré-lajes	121
Quadro 73 – Composição de serviço – Forma metálica	122
Quadro 74 – Composição de serviço – Concreto 40 Mpa	123

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva de prazos x custos totais do projeto – Adaptado de Hirschfeld (1978)	18
Gráfico 2 – Curva Normal. Caire (2013)	38
Gráfico 3 – Curva típica custos x prazo. Adaptado - Kelly (2009)	40
Gráfico 4 – Curva típica custos x prazo (Adaptado). Fonte: Feng (1997).....	41
Gráfico 5 – Resultados custos x prazo utilizando algoritmos genéricos. Fonte: Feng (1997)	41
Gráfico 6 – Relacionamento típico entre custos x prazos. Fonte: Hegazy (1999)	43
Gráfico 7 – Resultados do algoritmo. Fonte: Chassiakos (2005).....	45
Gráfico 8 – Curva de determinação de prazo ótimo (apenas custos variáveis).....	55
Gráfico 9 – Curva de determinação de prazo ótimo (custos variáveis e invariáveis)	56
Gráfico 10 – Curva de determinação de prazo ótimo (apenas custos variáveis).....	57
Gráfico 11 – Curva de determinação de prazo ótimo (apenas custos variáveis).....	58
Gráfico 12 – Curva de determinação de prazo ótimo (apenas custos variáveis) – Zonas dos projetos	60
Gráfico 13 – Curva de Perda de produtividade em função do prazo do projeto	85
Gráfico 14 – Curva de perda em função do prazo do projeto	88
Gráfico 15 – Curva de aumento de horas extras em função do prazo	89
Gráfico 16 – Curva de prazo ótimo – Ponte 1,6 Km	92
Gráfico 17 – Curva de prazo ótimo – Ponte 1,6 Km (zonas de projeto)	93
Gráfico 18 – Gráfico índice G – Condomínio de casas.....	106
Gráfico 19 – Curva de prazo ótimo – Condomínio de casas	110
Gráfico 20 – Curva de prazo ótimo – Condomínio de casas (zonas de projeto).....	111

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	7
RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE QUADROS	11
LISTA DE GRÁFICOS.....	13
1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	16
1.1 OBJETIVOS	21
1.2 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	22
1.3 ESTRUTURA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	23
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO AUTOR.....	24
2 ORÇAMENTOS DE OBRAS DE CONSTRUÇÃO	25
2.1 CONCEPÇÃO DO ORÇAMENTO DE OBRAS	25
2.1.1 ATRIBUTOS DO ORÇAMENTO.....	27
2.1.2 ETAPAS DA ORÇAMENTAÇÃO	30
2.1.3 ABORDAGEM MATEMÁTICA DA ORÇAMENTAÇÃO.....	32
2.2 PARTICULARIDADES DOS CRONOGRAMAS DAS OBRAS: CURVA S ..	38
2.3 RELAÇÃO TEMPO-CUSTO EM PROJETOS	39
3 MÉTODO PROPOSTO	46
3.1 MÉTODO PROPOSTO – ABORDAGEM MATEMÁTICA.....	46
3.1.1 ABORDAGEM MATEMÁTICA – GENERALIZAÇÕES	56
3.1.2 ABORDAGEM FINANCEIRA – RECEITAS E REMUNERAÇÃO.....	60
3.1.3 DESEMBOLSO FINANCEIRO.....	61
3.1.4 PROCEDIMENTOS E ETAPAS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	62
4 ESTUDOS DE CASO	69
4.1 ESTUDO DE CASO 1 – PONTE 1,6 KM.....	69
4.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO	69
4.1.2 PARÂMETROS DE REFERÊNCIA DAS VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO..	77
4.1.3 DETERMINAÇÃO DO PRAZO ÓTIMO TEÓRICO	91
4.1.4 ESTUDO DA CURVA DE CUSTOS VARIÁVEIS.....	92
4.1.5 VERIFICAÇÃO SE O PRAZO ESTIMADO INICIALMENTE É MAIOR OU MENOR QUE O PRAZO ÓTIMO DETERMINADO	92
4.1.6 RECÁLCULO E DETERMINAÇÃO DO CRONOGRAMA A PONTO-LIMITE DE ACORDO COM A DEFINIÇÃO ADOTADA NA ETAPA ANTERIOR.....	93
4.1.7 CÁLCULO FINAL DO POTENCIAL DE ECONOMIA UTILIZANDO PARÂMETROS DO CRONOGRAMA RECALCULADO.....	94

4.2	ESTUDO DE CASO 2 – CONDOMÍNIO DE 45 CASAS.....	96
4.2.1	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO	96
4.2.2	PARÂMETROS DE REFERÊNCIA DAS VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO..	98
4.2.3	DETERMINAÇÃO DO PRAZO ÓTIMO TEÓRICO	108
4.2.4	ESTUDO DA CURVA DE CUSTOS VARIÁVEIS.....	109
4.2.5	VERIFICAÇÃO SE O PRAZO ESTIMADO INICIALMENTE É MAIOR OU MENOR QUE O PRAZO ÓTIMO DETERMINADO	110
4.2.6	RECÁLCULO E DETERMINAÇÃO DO CRONOGRAMA A PONTO- LIMITE DE ACORDO COM A DEFINIÇÃO ADOTADA NA ETAPA ANTERIOR 110	
4.2.7	CÁLCULO FINAL DO POTENCIAL DE ECONOMIA UTILIZANDO PARÂMETROS DO CRONOGRAMA RECALCULADO.....	111
5	CONCLUSÃO E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS	116
5.1	CONCLUSÃO.....	116
5.2	FUTUROS DESENVOLVIMENTOS.....	117
	APÊNDICE A.....	121
	APÊNDICE B.....	124

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O termo projeto tem sido associado no Brasil ao *design* das diferentes disciplinas (civil, hidráulica, arquitetura, entre outras) e ao empreendimento englobando todas as fases e planos necessários para o seu desenvolvimento. Nesta última, temos uma conceituação muito mais abrangente que engloba todos os esforços temporais incorridos para se gerar um produto específico.

Segundo o Project Management Institute – (PMI, 2008), projetos são conjuntos de esforços temporários para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Eles são normalmente autorizados como resultado de uma ou mais considerações estratégicas, como, por exemplo, demanda de mercado, necessidade organizacional, solicitação de um cliente, avanço tecnológico ou até mesmo um requisito legal.

Meredith, Mantel e Shafer (2015) apontam para o fato de os projetos serem complexos o suficiente e necessitarem de uma capacidade de coordenação específica e de um controle detalhado dos recursos disponibilizados.

A Construção Civil é um setor que se caracteriza por possuir uma parcela majoritária de atividades baseada em projetos (empreendimentos), ou seja, a maior parte dos seus recursos é destinada aos esforços temporários para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo.

Infelizmente trata-se de um setor com problemas de credibilidade, escassez de oportunidades, baixo investimento em novas tecnologias e competitividade extremamente elevada.

Por isso o menor custo final de um projeto tem se tornado, muitas vezes, o principal elemento de diferenciação na competitividade entre as empresas durante as etapas de concorrência. Seguindo esta tendência, as empresas têm feito uma busca constante por melhorias em suas etapas orçamentárias a fim de se obter redução de custos através da melhoria de ferramentas de gestão. Em muitos casos, elas acabam se deparando com uma situação na qual essa redução de custo só é possível ou razoável com uma redução do prazo do projeto.

Balizado na experiência profissional do autor, que pôde observar esta busca constante das empresas de construção na redução dos custos dos empreendimentos através de iterações em seus prazos, veio a decisão do desenvolvimento deste trabalho, o qual busca estabelecer um método prático que possibilite aos orçamentistas obterem um ponto de partida mais preciso para a busca do prazo ótimo do empreendimento, ou seja, o prazo em que o empreendimento tem o menor custo.

Dito isto, seguem resumidas as principais justificativas para o desenvolvimento deste trabalho:

- Altíssima probabilidade de geração de economia de valor, desenvolvimento e melhoria de competitividade para as empresas.

- Grandes erros em estimativas de custos e prazos de obras, que geram atrasos, prejuízos e aditivos - fatores que são um dos graves problemas que enfrentamos nos setores público e privado e que incentivam a corrupção.
- Falta de confiabilidade nas margens de lucro contratuais e nas projeções de investimento durante a orçamentação e o planejamento dos projetos, dificultando o relacionamento com investidores e a captação de recursos.
- Gastos excessivos com mão de obra, materiais, equipamentos e custos indiretos.
- Má imagem do setor perante a população, visto que existem inúmeras obras paralisadas e que não terminam devido aos problemas levantados acima.
- Atraso em comparação com outras indústrias que, de maneira geral, conseguem abordar tais problemas com maior confiabilidade e de maneira mais científica e técnica.

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC (2011) aponta que a necessidade de se construir em prazos mais curtos para viabilizar os custos tem impulsionado as mudanças das tecnologias construtivas, levando empresas ao desenvolvimento de inovações ou à incorporação de inovações em seus processos.

Os projetos de Construção Civil apresentam significativas variações quando se consideram os aspectos relacionados aos custos e prazos. Observando o fator de temporalidade dos projetos, aparece o questionamento se é viável, de alguma maneira, desenvolver e aplicar métodos, durante a etapa orçamentária, que possibilitem correlacionar o custo e o prazo de um projeto, de tal modo que se estime um prazo que possibilite a redução do custo total, ou seja, encontrar um prazo ótimo teórico.

Durante a orçamentação dos projetos de construção, as empresas calculam todos os custos diretos e indiretos que compõem o projeto para um prazo pré-determinado pelo cliente ou pelas estimativas de seus orçamentistas e planejadores. Não é usual as empresas fazerem iterações de prazo durante a etapa de orçamentação, pois se acredita que há restrições nos fluxos de caixa do cliente principalmente devido à complexidade dessa atividade. Mesmo quando há tal procedimento, ele não é feito por um método estruturado.

Tradicionalmente os custos diretos são aqueles que estão diretamente ligados às quantidades e aos serviços em si. Já os indiretos são necessários para o desenvolvimento das atividades, ocorrendo independentemente de haver produção direta, por isso são tidos como dependentes do tempo ou da permanência.

Os custos indiretos variam proporcionalmente ao prazo do projeto, e os diretos tendem a variar inversamente, Hirschfeld (1978). Os indiretos variam proporcionalmente justamente pela sua característica de permanência ou de dependência do tempo. Já os diretos tendem a ter uma variação inversamente proporcional ao prazo justamente pelas questões de aumento de necessidade de recursos, culminando em aumento de custos de mobilizações de equipamentos, custos de rescisões trabalhistas, encargos, aumento de rotatividade, entre outros fatores. Uma abordagem detalhada sobre estas características é abordada no item 3.1 e em seus subitens.

A abordagem da determinação de um custo ótimo em função do prazo não é nova. Hirschfeld (1978) cita em seu trabalho a determinação do custo total ótimo através da representação gráfica da curva de custos totais em um projeto, conforme o Gráfico 1, levando em conta as características de variabilidade dos custos diretos e indiretos em função do tempo. Gadelha (2011) faz exatamente a mesma abordagem gráfica em seu livro de orçamentos na construção pesada.

Gráfico 1 – Curva de prazos x custos totais do projeto – Adaptado de Hirschfeld (1978)

É em torno da hipótese de que em um determinado prazo – prazo ótimo, a somatória entre os custos diretos e indiretos totalizaria o menor valor possível para o projeto, que o trabalho pretende ser desenvolvido, tentando observar quais são os fatores fundamentais que influenciam a sua determinação, qual a sua flutuação, qual a sua variabilidade em diferentes tipos de projetos e, finalmente, quais os impactos das variações destes prazos.

O trabalho fundamenta-se nesse princípio e busca desenvolver um método que aborde os aspectos matemáticos das variações dos custos e prazos nos projetos, permitindo, de maneira simples, o cálculo do prazo ótimo do projeto. Sem dúvida, é uma inovação, uma vez que, diferentemente dos trabalhos que o autor pôde observar, o desenvolvimento sempre foi tratado de maneira genérica, apenas abordando essa possibilidade de maneira gráfica geral, ou, então, sendo feita através de abordagem de algoritmos complexos computacionais.

A origem da ideia de se criar este método teve início após o ano de 2012, enquanto o autor estudava alguns projetos de infraestrutura.

Dois fatores chamaram muito a atenção naquela época sobre o que vinha acontecendo no mercado da construção: a crise muito alta no setor e o nível de

desconto dado pelas empresas vencedoras nos preços-base dos editais das licitações de obras públicas e privadas, chegando ao nível de 40%. Desta maneira, um questionamento apareceu: como as empresas poderiam chegar a um nível tão elevado de desconto nesses editais, uma vez que todos os preços de editais públicos são balizados em composições públicas de preços: SIURB, SINAPI, CPOS, SICRO, e sendo que os editais privados também possuíam razoável margem de confiança em suas estimativas?

A pergunta não possui uma resposta única, há várias opções: redução das margens de lucro por parte das construtoras, erros nos quantitativos dos editais, corte de custos, reduções salariais, entre outras. Entretanto uma outra opção que o autor percebeu que vinha ocorrendo no mercado era a dos estudos de cenários nos orçamentos contemplando a redução ou o aumento do prazo dos projetos, a fim de se identificar um prazo “melhor” para gerar economia de custos e, conseqüentemente, maiores descontos, ou seja, indiretamente, por meio de iterações, as empresas estavam fazendo estudos da variabilidade clara presente no relacionamento entre custos e prazos.

Assim, veio a motivação do autor, a de estudar e tentar desenvolver um método que possa, de maneira mais sistemática e prática, encontrar esses parâmetros de variabilidade dos custos e prazos das obras.

A justificativa principal se dá ao fato da não existência de um método simplificado e prático que possibilite, de maneira simples, a identificação do prazo ótimo dos projetos em função dos custos.

Bressiani (2004), por exemplo, cita que se faz necessária a utilização de ferramentas rápidas que possibilitem a determinação dos custos, como a utilização de estimativas paramétricas para o fornecimento de valores com um nível de erro aceitável para a tomada de decisões iniciais do projeto.

Outras justificativas são originadas devido ao alto potencial econômico tanto do setor quanto do método, fato que pode ser visualizado a seguir.

O setor da construção, no ano de 2017, representou uma média de 4,3% do valor mundial adicionado a todo Produto Interno Bruto (FEDERAL RESERVE BANK OF ST. LOUIS, 2018). Quando analisado o Brasil, este percentual alcança cerca de 5,2% (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2018). Ao avaliar que, em 2017, o PIB mundial foi de cerca de USD 80,6 trilhões de dólares (THE WORLD BANK, 2018), fica evidente o potencial financeiro do setor.

Pode-se dizer que, de uma forma direta ou indireta, um mecanismo mais científico, tecnológico e mensurável que aborde a relação entre os prazos e custos dos projetos de construção poderia ter alta influência e grande potencial financeiro.

O setor da construção, no que tange às etapas de orçamentação e planejamento, é caracterizado por um certo empirismo, culminando na maioria das vezes em uma falta de confiabilidade nas estimativas de prazos, custos e resultados dos projetos.

Librelotto e Lopes (2003) citam os riscos gerados nos projetos devido aos erros que chegam de 20% a 30% durante a sua análise de viabilidade.

A maioria das análises feitas durante as etapas de orçamentação e planejamento dos projetos de construção utiliza análises determinísticas, que se baseiam em

parâmetros médios observados em projetos similares ou que são coletados em materiais técnicos. Tal fato mostra uma falta de adaptação do setor da construção para novas tecnologias já disponíveis, visto que a maior parte da indústria de bens de consumo e suprimentos já não utiliza mais análises determinísticas para seus planejamentos e suas orçamentações, mas, sim, análises estocásticas que possibilitam fazer uma análise muito mais detalhada e balizada em probabilidade e estatística.

Esse empirismo, alinhado à falta de pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, torna o setor subjetivo e frágil, dando margem para inúmeros problemas setoriais que vêm sendo facilmente observáveis nos últimos anos. Um grande exemplo deles são as inúmeras falhas nas etapas de contratação e os gastos excessivos dos projetos que culminam em aditivos contratuais.

Apesar dos grandes problemas existentes, o meio ao qual a indústria da construção está imersa tem se mostrado mais favorável para que ocorram inovações tecnológicas, melhorias organizacionais e culturais em toda a sua cadeia produtiva, com possível economia nos processos e na geração de valor.

Umas das inovações que se mostra possível é justamente a abordagem mais técnica e científica das questões de interações entre os custos e os prazos dos projetos.

Diversos pesquisadores já se atentaram para a relevância e importância do tema, destacando-se Feng, Lui, Burns, Klansek, Trivedi e Namdev.

Para Feng, Liu e Burns (2000), a maior dificuldade para o cálculo do menor custo do projeto é devida às centenas de atividades existentes e às várias opções de completá-las utilizando diferentes quantidades de trabalhadores e equipamentos. Tal fato cria um problema clássico combinatório para os orçamentistas ao tentar identificar qual a melhor quantidade de trabalhadores e equipamentos a fim de se obter o menor custo final.

Uma abordagem sobre a predeterminação dos prazos de projetos pode ser verificada no trabalho de Hari (2017). Porém falta principalmente uma análise mais detalhada de quais são os elementos fundamentais que fazem com que os custos diretos e indiretos variem com o prazo dos projetos.

Segundo os autores Agyei (2015), Khang e Myint (1999), citados por Hari (2017), as principais restrições em um projeto de construção são tempo, custo e recursos do projeto. Geralmente os projetos de construção são complexos por natureza e afetados por atrasos no tempo. As principais razões para o atraso são a estimativa imprecisa, falhas de *design*, problemas de terra, licitação e atraso no fluxo financeiro, atrasos de pagamento, inexperiência, falta de coordenação e mudança no escopo do trabalho. Assim, a administração enfrenta problemas de relação entre tempo e custo.

A questão da variabilidade entre custos e prazos, a abordagem sobre a dúvida existente na determinação do cronograma ou prazo ideal para o projeto e também a possibilidade do estabelecimento de um algoritmo adequado para este cálculo são desenvolvidas nas citações de Klansek e Trivedi, conforme a seguir.

O agendamento econômico é um dos aspectos mais importantes do gerenciamento de projetos de construção. Os métodos tradicionalmente usados para o planejamento econômico de projetos no gerenciamento de construção incluem o

Método do Caminho Crítico (CPM) ou a Técnica de Avaliação e Revisão do Programa (PERT) combinada com o procedimento de tentativa e erro. Dessa forma, os cronogramas de projeto com boa relação custo-benefício são alcançados em uma análise demorada de custo-duração de várias alternativas para horários de início e duração das atividades do projeto de construção. No entanto, existe sempre a dúvida sobre se o cronograma do projeto obtido é ideal ou não. Para superar as desvantagens mencionadas, vários métodos de otimização diferentes estão sendo propostos para a otimização de custos dos cronogramas do projeto (KLANŠEK; PŠUNDER, 2010).

Considerando-se a análise do balanço entre todas as atividades do projeto, pode ser desenvolvida a relação entre a duração do projeto e o custo total da construção. O custo direto é a soma de todo o custo de construção das atividades, e o custo indireto são os custos necessários para o andamento do projeto. Portanto o custo total da construção do projeto pode ser calculado adicionando-se o custo direto ao custo indireto. Quando a duração do projeto é reduzida, o custo total torna-se bastante alto, e, à medida que a duração aumenta, o custo total também aumenta, mas a uma taxa inferior. Consequentemente esses problemas de tempo-custo na construção permitem desenvolver um algoritmo adequado que pode estabelecer uma relação de otimização (TRIVEDI; NAMDEV, 2015).

Por isso a estruturação de um método de estudo do relacionamento entre custo e prazo dos projetos de construção a fim de se determinar um prazo ótimo, no qual os custos finais sejam reduzidos, justifica-se claramente. Método que pode modernizar e amparar a confiabilidade dos projetos de construção de modo mais preciso, técnico e científico, além de poder apoiar futuros trabalhos e pesquisas relacionados a esta temática.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um método prático para a avaliação do prazo ótimo teórico de um projeto, prazo que resulte em menores custos totais e que possibilite em toda etapa de planejamento e gestão dos projetos a obtenção de um ponto de partida para a orçamentação, possibilitando também uma avaliação mais detalhada de todos os fatores que, direta ou indiretamente, impactam a relação entre os prazos e os custos. Os usuários imediatos do método proposto são as empresas de construção.

No Quadro 1, estão descritos os objetivos principais e específicos do trabalho.

Quadro 1 - Objetivos do trabalho

Item	Descrição
Desenvolver método para calcular o prazo ótimo teórico de projetos	Objetivo Principal
Evidenciar fatores que influenciam o cálculo do prazo ótimo teórico e seu comportamento	Objetivo Específico

Avaliar o comportamento do método desenvolvido em diferentes tipos de projeto	Objetivo Específico
---	---------------------

Fonte: Autor

1.2 METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Trata-se de um trabalho teórico-prático elaborado por meio de simulações numéricas, estudos de caso e revisão das etapas de orçamentação de obras e dos aspectos de variabilidade entre custos e prazos.

A confirmação dos resultados teóricos é obtida através de estudos de caso em projetos existentes no setor da construção. Computando, assim, os benefícios que podem ser gerados direta e indiretamente e observando quais são os fatores fundamentais que influenciam a determinação do tempo ótimo, qual a sua flutuação e, finalmente, qual a sua variabilidade em dois tipos diferentes de projeto.

No Quadro 2, são descritos os objetivos e as suas metodologias de aplicação.

Quadro 2 - Metodologia do trabalho

Objetivos	Metodologia	Resultado	Confirmação
Desenvolver método para calcular o prazo ótimo teórico de projetos	Revisão bibliográfica e pesquisa dos modelos existentes a fim de desenvolver um método mais adequado, simples e eficaz	Descrição do método e como ele deve ser aplicado nos projetos	Comparação do método do modelo teórico com resultados obtidos em simulações com projetos reais
Evidenciar fatores que influenciam o cálculo do prazo ótimo teórico e seu comportamento	Revisão bibliográfica do assunto, pesquisas em campo, conversas com profissionais da área	Obtenção dos fatores que influenciam o cálculo do prazo ótimo, suas variabilidades e pesos relativos	Aplicação dos fatores obtidos na concepção do método desenvolvido e confirmação através das simulações com dados reais e modelagem
Avaliar comportamento do método desenvolvido em diferentes tipos de projeto	Estudos de caso em diferentes tipos de projeto, calculando, assim, seus respectivos prazos ótimos e seus fatores de influência	Diferentes tipos de dados (tempo ótimo e fatores que influenciaram este cálculo) para cada um dos projetos	Simulação com modelos para validação

Fonte: Autor

A importância da aplicação do método proposto através de estudos de caso é de suma importância e se encaixa perfeitamente no contexto do trabalho.

Yin (2005) cita que, em geral, estudos de caso representam a estratégia preferida quando se colocam questões do tipo “como” e “por que”, quando o pesquisador tem pouco controle sobre os acontecimentos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real.

1.3 ESTRUTURA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos principais. O primeiro capítulo aborda os conceitos introdutórios, as justificativas, as motivações e os objetivos do trabalho. O segundo capítulo aborda a conceituação técnica dos orçamentos de obras e algumas particularidades das obras de construção. No terceiro capítulo, é feita uma revisão de trabalhos referentes ao tema e à descrição do método em si, e, no quarto capítulo, é feita a aplicação do método em dois modelos práticos. Finalmente, no quinto capítulo, são feitas as recomendações do método e as conclusões finais.

No Quadro 3, é abordado cada um dos resultados intermediários esperados para cada uma das etapas de desenvolvimento deste trabalho que estão embutidos nos capítulos desenvolvidos.

Quadro 3 – Atividades intermediárias x resultados esperados

Item	Atividades	Resultados
1	Revisão de conceitos fundamentais	Revisão sucinta com os principais conceitos exigidos para o entendimento do método a ser desenvolvido
2	Determinação dos fatores que influenciam os custos dos projetos	Revisão bibliográfica e documental contendo os fatores que influenciam os custos do projeto de forma organizada
3	Elaboração de equacionamento fundamental para a composição dos custos finais do projeto	Organização de uma formulação estruturada e sistemática contendo todos os elementos previamente identificados
4	Tratativas matemáticas da equação para a determinação do prazo ótimo teórico	Determinação e aplicação de um modelo matemático para encontrar prazo ótimo teórico
5	Descrição do método e da abordagem	Relatório descritivo da concepção do modelo e qual a sua abordagem para uso e aplicação
6	Exploração do potencial teórico do método	Exploração de curvas para casos gerais, correlacionamento de índices x curvas, entre outros
7	Coleta de dados reais para a aplicação no método desenvolvido	Relatório contendo conjunto de dados reais de um projeto de construção.
8	Emprego do método desenvolvido em projeto-teste real	Determinação do prazo ótimo teórico utilizando o modelo desenvolvido juntamente com os dados reais coletados anteriormente

9	Comparação dos resultados	Análise comparativa entre prazo real <i>versus</i> teórico e custos totais <i>versus</i> custos teóricos
10	Conclusões finais e futuras aplicabilidades do método desenvolvido	Conclusões finais sobre o método desenvolvido, abordagem de suas limitações e pontos fortes, além da descrição de possíveis aplicabilidades futuras

Fonte: Autor

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO AUTOR

A fim de caracterizar a origem da ideia sobre esta linha de pesquisa, é importante fazer uma caracterização da vida profissional e acadêmica do autor.

O autor do trabalho possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de São Carlos, obtida em 2009, MBA Internacional em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getulio Vargas – FGV/University of California – UCI, obtida em 2012, além de alguns cursos de especialização na área de Supply Chain oferecidos por plataformas *on-line* do Massachusetts Institute of Technology – MIT, em 2016. Possui também algumas certificações profissionais de Gerenciamento de Projetos, como Project Management Professional – PMP, por PMI, Prince2 Foundation e Practitioner e MS – Managing Projects with Microsoft Project 2013.

Em sua carreira profissional de mais de 12 anos, pôde atuar em grandes projetos de construção e infraestrutura – aeroportos, estádios de futebol, pontes, metrô, estradas e prédios, atuando principalmente na área de planejamento, tecnologia (engenharia), PMO, orçamento e custos.

2 ORÇAMENTOS DE OBRAS DE CONSTRUÇÃO

Para o desenvolvimento do método de cálculo do prazo ótimo do projeto de construção, a análise minuciosa dos inúmeros parâmetros do orçamento do projeto se faz necessária. Desta forma, para que seu entendimento seja mais simples, pretende-se estruturar seu desenvolvimento em diversas etapas de evolução gradual, concebendo desde uma revisão da concepção de orçamento de obras até finalmente a sua fundamentação detalhada. Abaixo, seguem os tópicos que serão tratados neste item:

- Concepção do orçamento de obras
- Particularidades dos cronogramas das obras: curva S de avanço físico
- Relação entre prazo e custos em projetos

2.1 CONCEPÇÃO DO ORÇAMENTO DE OBRAS

A elaboração de um orçamento para a determinação dos custos e resultados de uma obra ou projeto é uma atividade extremamente complexa, ela envolve a utilização de inúmeras variáveis e ferramentas: composições de serviços, levantamento de quantidades, elaboração de cronogramas, estimativas de custos indiretos, análise de riscos, entre outras.

Segundo Mattos (2006), o orçamento de uma obra não pode ser confundido com a orçamentação. O orçamento é o produto final do trabalho, já a orçamentação é o processo de determinação do orçamento.

Para as empresas ou pessoas que pretendem participar de atividades de construção, a elaboração de um bom orçamento se faz fundamental. Ele é o ponto-chave para que a parte interessada possua uma previsibilidade financeira: seus futuros custos, receitas e resultados.

Sua importância não se limita ao aspecto financeiro, um bom orçamento é fundamental para que a execução do projeto consiga ter planejamento e execução adequados e consiga dar ao executor as previsibilidades de prazo, pontos críticos de monitoramento e controle, necessidades temporais dos suprimentos e contratações, além de subsidiar a análise dos riscos envolvidos.

É importante salientar que a elaboração do orçamento não é uma atividade na qual se obtém um resultado exato, mas, sim, uma atividade de estimativa, basicamente um exercício de previsão de custos. Entretanto é de suma importância que as empresas, durante a etapa de orçamentação, nunca renunciem à melhor precisão possível, pois a precisão da etapa orçamentária é um dos fatores que mais contribuem para o sucesso do projeto.

O orçamento final basicamente se resume à somatória de todos os custos diretos e indiretos apurados nos levantamentos e estudos. De uma maneira simplificada, pode-se estimar o custo orçado pela Equação (1) e o valor de venda pela Equação

(2). Um detalhamento mais aprofundado sobre os conceitos de custos diretos, indiretos e BDI será abordado nos itens 2.1.3.1, 2.1.3.2 e 2.1.3.3.

$$Custo\ Orçado = \sum_{i=1}^n Custos\ Diretos + \sum_{i=1}^n Custos\ Indiretos \quad (1)$$

$$Preço\ de\ Venda = \left(\sum_{i=1}^n Custos\ Diretos \right) \times (1 + BDI) \quad (2)$$

O preço de venda do projeto é obtido através da aplicação do BDI – Bonificação e Despesas Indiretas sobre o valor obtido no orçamento.

A composição do BDI, que é a outra parte importante do orçamento, deverá conter todos os itens relativos aos custos indiretos da Administração Central, eventuais taxas de riscos do empreendimento, custos financeiros do capital de giro, todos os tributos federais e municipais, custos de comercialização e pretensão ou previsão de lucro. (Tisaka 2006)

Segundo Tsaka (2006), o BDI é composto dos seguintes elementos:

- Despesas ou custos indiretos. São os custos da Administração Central diretamente ligados a uma determinada obra, tais como gerente de contrato, engenheiro fiscal e as respectivas despesas de viagem e alimentação e o rateio de todos os custos da Administração Central constituídos por salários de todos os funcionários, pró-labore de diretores, apoio técnico-administrativo e de planejamento, compras, contabilidade, contas a receber e a pagar, almoxarifado central, transporte de material e de pessoal, impostos, taxas, seguros etc.
- Taxa de risco do empreendimento
- Custo financeiro do capital de giro
- Tributos
- Taxa de comercialização
- Benefício ou lucro

O preço de venda, apesar de ser obtido através do orçamento, que é uma estimativa, é um valor exato e, na maioria das vezes, é fixado e regimentado por meio de um contrato entre o cliente e executor. Desta forma, a importância da precisão na elaboração do orçamento se mostra fundamental, além disso, é muito importante que, durante a execução do projeto, o executor sempre leve em consideração as premissas e diretrizes definidas no orçamento.

2.1.1 ATRIBUTOS DO ORÇAMENTO

Os orçamentos possuem três principais atributos: aproximação, especificidade e temporalidade. Abaixo, segue a tratativa da aproximação e da especificidade.

2.1.1.1 APROXIMAÇÃO

O orçamento é baseado em previsões e estimativas feitas através de aproximações. Desta maneira, seu valor final não será exato, mas, sim, terá maior ou menor precisão, dependendo de qual nível de critério e estudo adotado.

Abaixo, seguem os principais itens que utilizam a aproximação:

Mão de obra

- Produtividade da Equipe – as produtividades das equipes de obra são estimativas adotadas por meio de observações de obras anteriores ou coletadas por meio de revistas ou órgãos especializados. Elas são médias horárias adotadas para cada função para desempenhar uma determinada atividade e são fatores que compõem as composições de custos. Por exemplo, um carpinteiro leva 2,5 horas para construir 1 m² de forma. É perceptível que em muitos casos, dependendo do tipo de obra ou facilidade do serviço, este item pode variar para 2,0 horas ou até mesmo ir a 3,0 horas para a produção do serviço. A aproximação se faz necessária, pois nenhuma empresa é capaz de calcular um número exato de horas para diferentes tipos de serviço. Entretanto a precisão se faz necessária e, por isso, a importância de uma boa avaliação do orçamento.
- Encargos sociais e trabalhistas – os encargos sociais e trabalhistas são basicamente um conjunto de premissas e médias obtidas através de dados históricos e estatísticos para os valores inerentes aos trabalhadores devido às cargas tributárias e aos acordos sindicais e requerimentos legais. Alguns fatores são exatos, como, por exemplo, o cálculo do INSS, FGTS. Entretanto muitos outros são estimativas, como, por exemplo, acidentes de trabalho, rotatividade para aviso prévio e licenças obrigatórias.

Material

- Preço dos insumos – os preços de insumos são em sua grande maioria coletados com potenciais fornecedores através de cotações de preço. Entretanto os preços utilizados no orçamento são suscetíveis às mudanças de demanda de mercado, localização da obra, entre outros fatores. Desta

forma, eles acabam sendo estimativas de um valor futuro, estimativas próximas, porém não imutáveis.

- Impostos – os impostos são estimados durante a fase de orçamentação. Para a execução de uma obra, há a incidência de diversos impostos federais, municipais e estaduais. Como exemplos, pode-se citar o ISS – Imposto Sobre Serviços, que é um tributo municipal, o ICMS – Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços, que é estadual, e o PIS/COFINS – que é um tributo federal. Os impostos também podem ser suscetíveis às mudanças de legislação e, desta forma, também são estimativas para o futuro.
- Perda – as perdas são nada mais que percentuais arbitrados para cada um dos insumos que compõem o orçamento. As margens de perdas de cada material são estimativas adotadas pelos orçamentistas através de médias e indicadores de outros projetos. Um exemplo de perda pode ser o caso do aço, com perdas durante a fase de corte de dobra de, por exemplo, 5%. É importante ressaltar que as perdas são inerentes à execução das atividades, já os desperdícios são gastos ou consumos que não agregam valor ao produto final do trabalho. Segundo Paliari (1999), as perdas seriam representadas pela diferença entre o consumo real de recursos envolvidos neste processo e a previsão de consumo preestabelecido, ou seja, homens-hora previstos x homens-hora utilizados, consumo de material previsto x consumo de material realizado e consumo de energia previsto x consumo de energia realizado.
- Reaproveitamento – são considerações de materiais que podem ser utilizados mais de uma vez durante a sua vida útil. Um dos exemplos de reaproveitamento é o caso de formas de chapa compensada, que podem ser reaproveitadas uma vez ou até mesmo três vezes. A estimativa depende do tipo de obra, e também são fatores arbitrados.

Equipamento

- Custo horário – o custo horário do equipamento é um parâmetro que pode ser estimado considerando-se a vida útil do equipamento, seus custos de manutenção operacional e preventiva, além dos custos da operação em si. Ele também é uma estimativa, pois depende de fatores variáveis.
- Produtividade – as produtividades dos equipamentos também são fatores estimados. Muitas vezes, em seus manuais técnicos, os equipamentos possuem suas capacidades produtivas, porém a consideração das produtividades dos equipamentos nos orçamentos depende muito de premissas de disponibilidade dos equipamentos, considerações de horas produtivas *versus* improdutivas, além da dificuldade do trabalho. Por exemplo, uma escavadeira pode escavar de 60 m³ a 120 m³ de solo por hora, dependendo se o solo é de classe I ou classe III.

Custos Indiretos

- Pessoal – os orçamentistas elaboram um organograma e/ou histograma com as estimativas de necessidades da equipe indireta para a obra, incluindo nos custos os valores de encargos trabalhistas, alimentação, exames admissionais e demissionais, refeições, retorno à base, participação nos resultados, entre outros.
- Despesas gerais – as despesas gerais são estimativas de custos indiretos que a obra possuirá, dentre eles pode-se citar os custos de canteiros de obras e parques industriais, contas de água, luz, telefone, taxas bancárias, mobiliário para escritório, equipamentos de informática e *softwares*, equipamentos de uso indireto, como, por exemplo, guias de apoio, geradores, serras, além de despesas de seguros.
- Imprevistos – os imprevistos são custos que os orçamentistas incluem como verbas para as incertezas que não podem ser estimadas, dentre eles pode-se citar as verbas de contingenciamento, os custos inerentes aos riscos de greve, chuva, inflação não coberta por reajustamento contratual, entre outros.

A partir da descrição de cada um dos fatores que compõem um orçamento de obras, fica claro que a orçamentação é uma atividade de estimativa e que envolve a adoção de inúmeras premissas. A precisão de cada orçamento envolve inúmeros fatores, e, de forma geral, quanto maior o nível de detalhe, maiores os esforços e custos para a sua elaboração. O método de cálculo do prazo ótimo pretende ser uma ferramenta que, com esforços reduzidos, possibilite melhorar a precisão dos orçamentos.

2.1.1.2 ESPECIFICIDADE

A especificidade basicamente pontua que cada orçamento de obra, por mais semelhante que seja, é uma atividade única e que não pode ser generalizada ou padronizada, mas, sim, apenas adaptada. Isto deve-se ao fato de que o orçamento de uma obra está ligado aos fatores externos que podem afetar muito seus valores e suas premissas.

Os fatores externos podem ser exemplificados conforme a seguir:

- Tipo de cliente – o tipo de cliente influencia o nível de segurança exigido, a adoção do uso de normas específicas, como, por exemplo, as normas ISO, e a obtenção de certificações como, por exemplo, LEED, fatores que podem incrementar em muito os custos. Outro exemplo pode ser as características financeiras dos clientes, que, devido ao risco de fluxo de caixa e condições de pagamento, podem fazer com que o projeto possua maiores riscos ou menores resultados.

- Empresa – cada empresa tem sua política própria de gestão de obras, umas podem ter um efetivo indireto maior; outras, taxas de administração menores. Algumas podem fornecer melhores salários e condições para o seu efetivo, como, por exemplo, retornos à base mais frequentes, disponibilidade de carros, canteiro de obras mais elaborado. Outras podem adotar políticas sociais e usar *softwares* mais sofisticados. Tais fatores variam de empresa para empresa e são especificidades que devem ser ponderadas.
- Condições locais – a localização da obra muda muito os parâmetros do orçamento. O tipo de solo, as condições climáticas, a disponibilidade de mão de obra, a oferta de equipamentos, entre outros fatores, são condições que, com certeza, têm impacto relevante no orçamento.

2.1.1.3 TEMPORALIDADE

A temporalidade pontua que as questões temporárias dos orçamentos, ou seja, um orçamento elaborado há dez anos pode não ser mais válido para hoje. Tal fenômeno ocorre devido ao fato de que, conforme a variação do tempo, vários fatores mudam, por exemplo:

- Custos de insumos – os custos dos insumos não são estáticos no tempo, por exemplo, o diesel orçado para uma obra em 2009 não necessariamente terá o mesmo valor em 2019.
- Impostos e encargos – os impostos e encargos também variam, mudanças nas leis trabalhistas e mudanças de regimes tributários podem ocorrer com o passar do tempo.
- Metodologias construtivas – as metodologias empregadas há 15 anos não são as mesmas de hoje, diversas melhorias vêm ocorrendo, por exemplo, a redução do tempo de cura do concreto e o desenvolvimento de materiais mais leves e resistentes.
- Cenários financeiros e gerenciais – os cenários financeiros e gerenciais também mudam com o passar do tempo, as taxas de juros, inflação, taxas de atratividade são exemplos que sofrem variações no decorrer do tempo.

2.1.2 ETAPAS DA ORÇAMENTAÇÃO

As etapas fundamentais de orçamentação envolvem o estudo de diversas condicionantes ou condições de contorno, conforme abordado a seguir:

- Leitura e interpretação do projeto e especificações técnicas – leituras dos projetos contendo plantas baixas, cortes, vistas, notas explicativas, tabelas, quadros, especificações técnicas, leis e normas.
- Leitura e interpretação do edital – interpretação do edital, no qual contém datas e marcos, penalidades, prazos, regime de preços, habilitação técnica, seguros, critérios de medição, regime de contratação e preços.
- Visita técnica – importante para tirar dúvidas, levantar disponibilidade de recursos, materiais e equipamentos, tirar fotos das frentes de serviços
- Identificação dos serviços – identificação e levantamento de todos os serviços necessários para que se conclua a obra.
- Levantamento de quantitativos – levantamento dos quantitativos dos serviços identificados através dos projetos.
- Discriminação dos custos diretos – separação de todos os custos diretos, ou seja, aqueles que representam os custos dos serviços levantados.
- Discriminação dos custos indiretos – separação dos custos indiretos, ou seja, aqueles que não estão diretamente associados ao campo, mas são fundamentais para o apoio e a conclusão da obra. Dentre eles estão engenheiros, mestres, contas de materiais e despesas de escritório.
- Cotação de preços – cotação de todos os insumos diretos e indiretos para a execução da obra com fornecedores e subcontratados.
- Definição de encargos sociais e trabalhistas – definição dos encargos sociais e trabalhistas que serão utilizados para a obra. Envolvem os aspectos de impostos que incidem sobre os custos de mão de obra, como, por exemplo, INSS, férias obrigatórias, 13º salário, indenizações, entre outros.
- Definição da lucratividade – definição da lucratividade através da análise do retorno esperado pela empresa.
- Cálculo do BDI – cálculo do fator de majoração dos preços dos serviços para incluir as bonificações e despesas indiretas.
- Finalização do orçamento com planilha de venda – após o cálculo do BDI e dos custos dos serviços diretos, pode-se obter a planilha e/ou o preço de venda final da obra.

Na Figura 1, pode-se observar de maneira resumida as etapas fundamentais do orçamento.

Figura 1 – Etapas fundamentais do orçamento. Adaptado – Mattos (2006)

2.1.3 ABORDAGEM MATEMÁTICA DA ORÇAMENTAÇÃO

Conforme já abordados nas Equações (1) e (2), os custos totais da obra se compõem pela somatória de todos os custos diretos e indiretos do projeto.

2.1.3.1 CUSTOS DIRETOS

O custo direto de uma obra é a somatória de todos os custos de materiais, equipamentos e mão de obra aplicados diretamente em cada um dos serviços na produção de uma obra ou edificação qualquer, incluindo-se todas as despesas de infraestrutura necessárias para a execução da obra (Tisaka, 2006).

Os custos diretos normalmente se dividem em três principais parâmetros: mão de obra, materiais e equipamentos. Para que o orçamentista consiga organizar

informações, é usual que as quantidades de insumos e serviços sejam estimadas através de composições de serviços juntamente com planilhas de levantamento de quantidades.

Segundo Mattos (2006), as composições de custos listam todos os insumos que entram na execução de um determinado serviço, com suas respectivas quantidades e seus custos unitários e totais.

O Quadro 4 ilustra um modelo simples de composição de serviço.

Quadro 4 – Exemplo de composição de serviço

Insumo	Unidade	Índice	Custo Unitário (R\$/Und)	Custo Total
Armador	H	0,10	6,90	0,69
Ajudante	H	0,10	4,20	0,42
Aço CA-50	Kg	1,10	2,90	3,19
Arame recozido	Kg	0,03	5,00	0,15
Total				4,45

O Quadro 5 mostra um exemplo da composição de um dos serviços existentes em uma obra. Neste caso, é a composição do concreto estrutural usinado de 40 Mpa incluindo o bombeamento.

Nota-se que a composição do serviço se divide em três subpartes:

- Equipamentos com o custo de R\$ 0,79/m³
- Mão de obra com o custo de R\$ 77,30/m³
- Materiais com o custo de R\$ 295,51/m³

Ao final, o valor do serviço fica em R\$ 373,59/m³. Além disso, a composição do serviço se separa em:

- Recursos – itens utilizados para compor o serviço.
- Unidade – unidade utilizada para cada um dos recursos.
- Coeficiente – um dos itens mais importantes, no qual o orçamentista estima as produtividades de cada um dos recursos para determinado serviço.
- Valor unitário – é o custo unitário do recurso.
- Valor parcial – é o produto entre o custo unitário e o coeficiente de cada recurso.

Quadro 5 – Composição de Serviço – Concreto 40 Mpa

COMPOSIÇÃO DE SERVIÇO				UNID
Concreto estrutural usinado FCK=40 MPA, com bombeamento				M3
RECURSOS DA COMPOSIÇÃO	UNID	COEF.	VALOR UNITÁRIO	VALOR PARCIAL
Ferramentas	%	3,00	0,26	0,79
Grupo: A – EQUIPAMENTO				0,79
Custo agregado à mão de obra	H	3,60	5,10	18,36
Encargos Sociais	%	125,00	0,26	32,74
Servente	H	2,00	6,57	13,14
Pedreiro	H	1,50	7,03	10,55
Encarregado Civil	H	0,10	25,09	2,51
Grupo: B - MÃO DE OBRA				77,30
Cimento portland CP 32 – IV	KG	2,50	0,38	0,95
Taxa de bombeamento	M3	1,03	25,00	25,75
Usinagem DMT=3,00km	M3	1,03	14,40	14,83
Material Concreto 40 Mpa	M3	1,03	246,58	253,98
Grupo: E – MATERIAIS				295,51
CUSTO DIRETO:				373,59
BDI (0%)				0,00
TOTAL (CUSTO DIRETO + BDI)				373,59

A planilha de levantamento ou estimativas de quantidades é onde as quantidades de projeto são organizadas de maneira estruturada e de fácil compreensão.

A partir destes dois elementos, quantidades de serviços e composições, pode-se gerar o Quadro 6, no qual cada uma das quantidades estimadas é multiplicada pela sua respectiva composição, de maneira que, ao final, pode-se gerar as estimativas de todos os custos diretos.

Como exemplo, pode-se calcular o custo direto do Item 2 – Concreto estrutural usinado Fck 40 Mpa do Quadro 6. O quantitativo estimado é de 8.720 m³, o valor unitário conforme a composição do Quadro 5 é de R\$ 373,59/m³. Desta forma, ao final, pode-se chegar ao custo direto total multiplicando estes dois fatores, resultando, assim, em R\$ 3.257.751.

De maneira análoga, pode-se calcular apenas os valores de mão de obra que certo serviço possui. Por exemplo, considerando a mesma quantidade do Item 2 – Concreto estrutural usinado Fck 40 Mpa do Quadro 6, pode-se calcular que o valor de mão de obra gasto seria de 8.720 m³ multiplicados pelo valor unitário da mão de obra conforme o da composição do Quadro 5, que é de R\$ 77,30 / m³. Desta forma,

chegando ao final em um custo direto total de mão de obra deste serviço em R\$ 674.056.

Quadro 6 – Planilha de levantamento x composições de custo

Item	Serviço	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
1	Fornecimento, preparo e colocação de Aço CA-50, inclusive mão de obra	KG	1.263.727	4,29	5.417.724
2	Concreto estrutural usinado FCK=40 MPA, com bombeamento	M3	8.720	373,59	3.257.751
3	Esc. carga transp. mat 1ª cat dmt 3000 a 5000m c/e	M3	660.641	4,22	2.785.064
4	Fornecimento, preparo e colocação formas Aço CA-50	KG	539.544	4,49	2.424.117
5	Fornecimento, preparo e colocação de Aço CA-50, inclusive mão de obra	KG	396.143	5,32	2.109.264
6	Esc. carga transp. mat 1ª cat dmt 8001 a 9000m c/e	M3	223.283	7,09	1.583.768
7	Forma de placa compensada resinada	M2	58.384	22,29	1.301.318
8	Compactação de aterros a 100% proctor normal	M3	587.781	2,08	1.223.997
9	Sub-base de Brita Graduada	M3	5.936	158,36	940.121
10	Concreto estrutural usinado FCK=40 MPA, com bombeamento	M3	2.483	373,59	927.785

A elaboração dos custos diretos pode ser exemplificada pelo somatório das Equações (3), (4) e (5):

$$MO_o = \sum_{i=1}^n (CompMO_i \times Qtde_i) \quad (3)$$

$$Mat_o = \sum_{i=1}^n (CompMat_i \times Qtde_i) \quad (4)$$

$$Eq_o = \sum_{i=1}^n (CompEq_i \times Qtde_i) \quad (5)$$

Onde:

MO_o – Custos totais de Mão de Obra Direta

CompMO_i – Custos do item de Mão de Obra dentro de cada composição *i* do projeto

Mat_o – Custos totais de Materiais Diretos

CompMat_i – Custos do item de Materiais dentro de cada composição *i* do projeto

Eq_o – Custos totais de Equipamentos Diretos

CompEq_i – Custos do item de Equipamento dentro de cada composição *i* do projeto

Qtde_i – Quantitativo de cada item *i* do projeto

2.1.3.2 CUSTOS INDIRETOS

São os custos específicos da Administração Central diretamente ligados a uma determinada obra, tais como gerente de contrato, engenheiro fiscal e as respectivas despesas de viagem e alimentação (Tisaka, 2006).

Os custos indiretos podem ser divididos em mão de obra indireta, despesas gerais e imprevistos. Normalmente, durante a orçamentação, eles são estimados da seguinte forma:

- Mão de obra gerencial – é equalizada de acordo com organogramas e histogramas de necessidades de recursos durante o tempo, pode ser aproximada para verbas mensais.
- Custos gerenciais – são custos de contas de consumo como água, energia, despesas de canteiro, materiais de escritório, custos advocatícios, despesas bancárias, custos de EPIs, treinamentos, exames médicos, entre outros. Usualmente também são estimados em verbas mensais.
- Riscos e imprevistos – são verbas gerenciais que são utilizadas como reservas de custo para itens que são extremamente difíceis de se mensurar durante o orçamento, como, por exemplo, greves, inflação, reajustamentos não cobertos pelo cliente, entre outros. Normalmente uma verba geral é provisionada para o projeto como um todo e direcionada para o final do projeto.
- Mobilização – é uma despesa de maior porte, geralmente inclui os custos de canteiro de obras, parque industrial, transporte dos equipamentos para a

obra, equipamentos de informática, entre outros. Normalmente são verbas que incidem no início da obra.

Desta forma, de maneira matemática, pode-se dizer que a elaboração dos custos indiretos pode ser exemplificada pelas Equações ou Igualdades (6), (7) e (8), em que a Equação (6) compõe a verba de mobilização, a Equação (7) compõe os riscos e imprevistos e a Equação (8) compõe os custos mensais da obra.

$$CI_{Mob} = CI_{min} \quad (6)$$

$$CI_R = CI_R \quad (7)$$

$$CI'_t = CI_{mensal} \quad (8)$$

Onde:

CI_{Mob} – Verba de mobilização sendo CI_{min} o valor mínimo de mobilização

CI_R – Verba contemplando riscos, imprevistos e contingenciamento

CI'_t – Verba mensal contemplando custos indiretos médios mensais

Ao final, chega-se aos custos indiretos totais na Equação (9):

$$CI_0 = CI_{Mob} + CI_R + CI'_t \times t \quad (9)$$

Onde:

CI_0 – Custos Indiretos totais

2.1.3.3 CUSTOS TOTAIS

Os custos totais podem ser dados pela Equação (10), que compõe a somatória de custos indiretos e diretos:

$$CT_t = (MO_o + Mat_o + Eq_o + CI_0) \quad (10)$$

Onde:

CT_t – Custos Totais

2.2 PARTICULARIDADES DOS CRONOGRAMAS DAS OBRAS: CURVA S

As obras de Construção Civil têm inúmeras atividades, recursos físicos e financeiros para ser gerenciados e gerenciados durante o cronograma do projeto. Todos estes itens ocorrem de forma simultânea e envolvem uma grande complexidade. Em uma análise mais apurada das variabilidades dos recursos do projeto *versus* o cronograma, fica perceptível que tais fatores não ocorrem de forma linear, os projetos de construção possuem uma característica de ter um início mais lento, uma progressão mais acentuada e um encerramento também lento.

Uma forma bastante aceita de se representar esta característica específica de progressão das obras é através da Curva de Gauss, conforme representada pelo Gráfico 2 – Curva Normal. Quando esta curva é representada de forma acumulada, ela configura uma formatação em formato de “S” e é popularmente nomeada como curva S.

Gráfico 2 – Curva Normal. Caire (2013)

A curva S é extremamente importante para a orçamentação de obras, sendo utilizada inclusive para as estimativas de avanço físico, de custos e de receitas.

Segundo Mattos (2010), uma maneira simplificada de se estabelecer a curva S para o projeto é pela Equação (11).

$$\%_{Acum}(n) = 1 - \left[1 - \left(\frac{n}{N} \right)^{\log I} \right]^s \quad (11)$$

Neste caso, n é o número de ordem do período do projeto, N é o prazo total do projeto, I é o ponto de inflexão da curva e s é o coeficiente de forma que depende do ritmo e das particularidades da obra.

O desenvolvimento desta equação é de extrema importância para este trabalho, pois é por meio dela que será possível a determinação do fator de pico médio K , que será abordado adiante.

2.3 RELAÇÃO TEMPO-CUSTO EM PROJETOS

O relacionamento entre os custos e prazos de projetos tem sido objeto de trabalho de grande parte dos pesquisadores da área. Os trabalhos desenvolvidos possuem duas vertentes principais: (i) elaboração de *softwares* iterativos para a determinação da curva de relacionamento entre custos e prazos e (ii) aplicação de análises de *crash time* fundamentadas apenas em algumas atividades selecionadas. Ambas fazem estimativas da variação dos custos de cada atividade em função do tempo, de forma bastante empírica ou não detalhada, focando principalmente a curva e os cálculos, e nas quais os fatores geradores da curva e as implicações de cada um.

Define-se a análise de *crash time* como uma etapa de orçamentação que pode ser replanejada a partir das relações entre custos e prazos do projeto, considerando-se que as características específicas do produto final, como qualidade e desempenho, sejam mantidas. Esta análise tem como objetivo possibilitar a análise de variação dos custos com a redução do prazo de entrega.

Usualmente, durante estas análises, apenas as atividades pertencentes ao caminho crítico do projeto são utilizadas, de forma que as reduções-limite de prazo de cada uma delas e os seus impactos nos aumentos de custos são computados.

Kelly (2009) aponta alguns parâmetros de variação durante uma análise de *crash time*:

- Aumento de horas extras
- Alocação de recursos adicionais para atividades específicas
- Contratação de recursos adicionais
- Pagamentos de incentivo para que as atividades sejam feitas mais rapidamente
- Contratação de terceirizados adicionais para reduzir os prazos das atividades

Kelly (2009) exemplifica uma curva típica entre custos e prazos, conforme o Gráfico 3. Ela aponta para a característica de correlação negativa entre os fatores.

Pela curva, o projeto inicialmente tem um prazo de 30 semanas da figura, e seu custo está em U\$ 60.000. Quando as atividades são aceleradas de forma que o prazo total se reduza a 20 semanas o custo aumenta para U\$ 80.000. Quando o prazo é reduzido para apenas 15 semanas, o custo aumenta para U\$ 150.000.

A partir desta redução de prazo para 15 semanas, definido como o ponto de máximo *trade-off* entre custos e prazos, nenhuma redução de prazos pode ser ganha. Uma razão desta particularidade é que o projeto já estaria com seu caminho crítico com os prazos reduzidos ao máximo possível ou em seu *crash time*.

Gráfico 3 – Curva típica custos x prazo. Adaptado - Kelly (2009)

A conceituação do *crash time* é importante para este trabalho por três fatores principais:

- Mostra que as análises de prazo de projetos possuem limites de redução, possivelmente limites tecnológicos.
- Mostra a correlação negativa entre custos e prazos de projetos.
- Mostra que certas análises utilizadas hoje não consideram todos os parâmetros de projeto para análises, neste caso, por exemplo, apenas as atividades do caminho crítico são utilizadas.

No trabalho de Feng (1997), são apontadas as características de comportamento entre os custos e prazos de projetos, conforme o Gráfico 4.

Gráfico 4 – Curva típica custos x prazo (Adaptado). Fonte: Feng (1997)

Foram feitos modelos computacionais com diversas iterações a fim de se obter as curvas de *trade-off* entre prazos e custos, conforme o Gráfico 5.

Gráfico 5 – Resultados custos x prazo utilizando algoritmos genéticos. Fonte: Feng (1997)

O enfoque estava principalmente na apuração técnica da funcionalidade de aplicação do algoritmo, sendo assim, os parâmetros dos valores dos custos e suas variações, conforme os prazos, não são abordados em detalhe e sugerem, de certa

forma, uma arbitrariedade na parametrização dos valores, já que o enfoque era a sistematização e aplicação do algoritmo.

No Quadro 7, pode-se observar que, para cada uma das atividades, existem quatro possibilidades de duração e os respectivos custos para cada uma delas. É notável que este resultado somente foi possível porque foi definido que, conforme as durações aumentam os custos, eles ficam estimados em valores mais baixos.

Quadro 7 – Valores dos custos x prazos utilizados no algoritmo. Adaptado - Feng (1997)

ID (1)	Duração (2)	Custo (3)
1	14	2.400
1	15	2.150
1	16	1.900
1	21	1.500
1	24	1.200
2	15	3.000
2	18	2.400
2	20	1.800
2	23	1.500
2	25	1.000
3	15	4.500
3	22	4.000
3	33	3.200
4	12	45.000
4	16	35.000
4	20	30.000
5	22	20.000
5	24	17.500
5	28	15.000
5	30	10.000
6	14	40.000
6	18	32.000
6	24	18.000
7	9	30.000
7	15	24.000
7	8	22.000

Hegazy (1999), por sua vez, faz uma revisão bibliográfica em seu trabalho apontando quais são os tipos de técnica existentes para as análises de *trade-off* entre custos e prazos. Ele subcategoriza estas análises em três principais tipos: metodologias heurísticas, modelos de programação matemáticos e aplicação de algoritmos genéricos.

São também abordadas explicações de como cada uma das subcategorias funcionam, exemplos de autores que aplicaram cada uma destas subcategorias e os pontos positivos e negativos de cada uma delas. Tais fatores podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 – Subcategorização de análises de *trade-off*. Adaptado – Hegazy (1999)

Hegazy (1999) também aponta para a curva de relacionamento entre custos e prazos, apontando o ponto de decisão ótimo para determinado projeto. O Gráfico 6 mostra tal relacionamento.

Gráfico 6 – Relacionamento típico entre custos x prazos. Fonte: Hegazy (1999)

Correlacionando-se o presente trabalho com a abordagem classificativa de Hegazy (1999), pode-se dizer que o método a ser desenvolvido para o cálculo do prazo ótimo se classifica entre os métodos heurísticos e os modelos de programação matemáticos. O fato de o método proposto se classificar entre os dois modelos citados acima faz com que o método aproveite os pontos fortes dos modelos e elimine alguns dos seus pontos fracos. Como exemplo dos pontos fortes, pode-se citar a facilidade do entendimento, a possibilidade de ser utilizado para grandes projetos e a possibilidade de resultar em boas soluções. E, como exemplo dos pontos fracos eliminados, a falta de rigor matemático e a dificuldade de aplicação e limitação a pequenos projetos.

Chassiakos (2005), por sua vez, faz a análise entre custos e prazos de projetos utilizando métodos de programação linear completa em comparação a uma aproximada.

Mais uma vez, valores para os custos e prazos das atividades são relacionados, entretanto sem entrar no mérito do seu levantamento, uma vez que o principal objetivo do trabalho era a avaliação das aplicabilidades computacionais dos modelos.

O Quadro 8 mostrando o relacionamento entre custos e prazos, e o Gráfico 7 mostrando os resultados obtidos para a aplicação da programação linear exata e aproximada.

Quadro 8 – Valores dos custos x prazos utilizados no algoritmo. Fonte: Chassiakos (2005)

Atividade Número	Normal		Alternativa 1		Alternativa 2	
	Tempo	Custo	Tempo	Custo	Tempo	Custo
1	15	60	12	68	-	-
2	25	30	20	38	15	44
3	25	50	20	54	15	60
4	12	17	9	21	-	-
5	6	3	-	-	-	-
6	12	27	9	32	-	-
7	6	8	-	-	-	-
8	20	44	15	48	12	54
9	12	15	9	22	-	-
10	6	3	-	-	-	-
11	1	0,5	-	-	-	-
12	25	95	20	105	15	109
13	15	34	12	41	9	51
14	12	9	9	13	-	-
15	25	30	15	39	12	42
16	40	79	35	85	30	90
17	25	23	20	26	12	35
18	20	14	15	18	12	24
19	25	14	20	19	15	24
20	20	39	15	42	-	-
21	40	42	35	50	30	58
22	40	36	30	48	25	56
23	40	65	35	74	25	79
24	9	7	-	-	-	-
25	25	45	20	51	15	59
26	25	50	20	58	15	64
27	30	60	25	72	20	78
28	12	9	9	13	7	18
29	1	0,5	-	-	-	-

Gráfico 7 – Resultados do algoritmo. Fonte: Chassiakos (2005)

Contador (2010), abordando a solução do problema de balanceamento entre duração e custo de um projeto, cita que os métodos clássicos utilizam a teoria de fluxo em redes para resolver este problema, destacando diversos autores, como Fulkerson (1961), Philips e Dessouky (1977) e Tufekci (1982). Entretanto destaca que todos os métodos desenvolvidos requerem conhecimentos não elementares de pesquisa operacional e guardam pouca relação com a lógica do problema de gerenciamento de projetos.

Todos os trabalhos abordados acima são bastante semelhantes. Indiscutivelmente eles abordam a correlação entre custos e prazos dos projetos e suas características de variabilidade proporcional para os custos indiretos e inversamente proporcional para os diretos. Entretanto todos apresentam limitações na quantidade de atividades do projeto avaliadas e no detalhamento de como as variações de cada um dos custos diretos e indiretos são calculadas.

Outros trabalhos foram verificados, entretanto todo o enfoque de pesquisa que se encontrou para este tema está direcionado para o desenvolvimento de algoritmos, programações e melhorias computacionais ou, então, em abordagens simples e genéricas. Nenhum desenvolvimento de método sistemático e matemático simples, abordando todas as atividades de um projeto de forma detalhada, foi encontrado.

3 MÉTODO PROPOSTO

A proposta está feita em três diferentes etapas:

- 1ª Etapa – Abordagem matemática.
- 2ª Etapa – Identificação e isolamento de todos os tipos de custo que podem ter algum aumento ou alguma redução com a variação do prazo do projeto.
- 3ª Etapa – Previsão de funcionalidades da metodologia e forma de aplicação.

3.1 MÉTODO PROPOSTO – ABORDAGEM MATEMÁTICA

Para a determinação do prazo ótimo de um projeto, a tratativa metodológica foi isolar e identificar os fatores de custos do orçamento que variam conforme o prazo do projeto e os que não variam. Prevendo casos em que os custos aumentam proporcionalmente ao aumento do prazo, ou eles se reduzem inversamente ao aumento do prazo.

Em uma análise detalhada, considerando-se os custos diretos e os indiretos com sua relação à variabilidade dos custos no prazo, pode-se observar o Quadro 9, que indica as premissas e considerações adotadas no desenvolvimento do método deste trabalho.

É importante notar que, para o cálculo do prazo ótimo do projeto em relação aos seus custos, foi feita a consideração de um cenário congelado, ou seja, variações normais de preços devido a reajustamentos, demanda de insumos, variabilidade de impostos, custos de equipamentos, entre outros fatores, não foram consideradas. Adota-se a premissa de que a variabilidade de custos destes itens é coberta por reajustamentos contratuais e que não teriam impacto na análise.

Da mesma maneira, toda a abordagem em relação aos projetos neste trabalho será a mais abrangente, não só no *design*, mas no gerar ou construir um novo produto. Um outro aspecto importante é que todo o desenvolvimento do método estará sob o ponto de vista das empresas construtoras e dos orçamentistas, e não do cliente; casos em que o ponto de vista mudar serão indicados no trabalho.

Assumiu-se ainda que as variações dos riscos e de contingenciamento, apesar de possuírem característica inversamente proporcional à redução dos prazos, são parâmetros muito complexos de se mensurar e são valores bastante subjetivos para o cálculo. Além disso, os valores de aumento destes itens não representam impactos tão expressivos no cálculo final do prazo ótimo quanto os outros que foram abordados.

Quadro 9 – Variação dos custos x variação do prazo

Item	Subitem	Variabilidade no prazo	Característica em função do prazo
Custo Direto			
Mão de Obra	Produtividade	Sim	Inversamente proporcional
	Rotatividade	Sim	Inversamente proporcional
	Encargos Sociais	Sim	Inversamente proporcional
Materiais	Preço dos insumos	Sim	Diretamente proporcional
	Impostos	Cenário congelado	Não considerada
	Perdas	Não considerada	Não considerada
	Reaproveitamento	Não considerada	Não considerada
Equipamentos	Custo-horário	Cenário congelado	Não considerada
	Mobilização	Sim	Inversamente proporcional
Custo Indireto			
Mão de Obra	Efetivo mensal de apoio	Sim	Diretamente proporcional
	EPIs, exames, uniformes	Sim	Inversamente proporcional
Despesas Gerais	Contas de consumo	Sim	Inversamente proporcional
	Impostos e tributos	Cenário congelado	Não considerada
	Canteiro de obras	Sim	Inversamente proporcional
Imprevistos	Riscos e outros	Não considerada	Não considerada

O Quadro 10 aborda as justificativas e explicações da adoção de cada um dos itens, feitas pela análise de sensibilidade dos fatores através da variação dos prazos.

Quadro 10 – Variação dos custos x variação do prazo

Item	Subitem	Por que varia, ou não, com o prazo? Análise de sensibilidade em função do prazo
Custo Direto		
Mão de Obra	Produtividade	Ao se aumentar muito o efetivo para o desenvolvimento de uma mesma atividade, a produtividade é reduzida devido ao aumento da dificuldade de trabalho, à redução de espaço e possível falta de materiais e recursos
	Rotatividade	Ao se aumentar muito o quantitativo de contratação em um curto espaço de tempo, aumenta-se a chance de encontrar mão de obra que se adeque menos à obra, ou que se demita mais facilmente
	Encargos sociais	Ao se aumentar muito o efetivo para o desenvolvimento de uma obra, os encargos sociais calculados de rescisões saem dos parâmetros médios adotados para as permanências médias das obras, aumentando assim muito os custos com indenizações de rescisões e avisos prévios indenizados
Materiais	Preço dos insumos	Considerando grandes compras em um menor prazo, há uma redução de custos devido à economia de escala
	Impostos	Considerando um cenário congelado para este caso, os impostos não variam com o prazo do projeto, permanecendo os mesmos
	Perdas	As perdas são as mesmas, independentemente do prazo
	Reaproveitamento	Poderia até haver uma redução no reaproveitamento de materiais no aumento do prazo devido à execução de inúmeras atividades que estariam sequenciais e passando a ser executadas simultaneamente devido à redução de prazo, porém seu efeito é desprezível perto dos outros fatores
Equipamentos	Custo-horário	Considerado um cenário congelado para este caso
	Mobilização	Ao se reduzir o prazo, há uma tendência de aumento da necessidade de equipamentos, fazendo com que o número de mobilizações aumente
Custo Indireto		
Mão de Obra	Efetivo mensal de apoio	Considerando um efetivo fixo de apoio para a obra, o aumento do prazo faz com que a sua permanência aumente, gerando assim maiores custos
	EPIs, exames, uniformes	Ao se reduzir o prazo da obra, há a necessidade de maior efetivo, gerando assim uma necessidade maior de compra de EPIs, exames médicos e uniformes

Despesas Gerais	Contas de consumo	Ao se reduzir o prazo da obra, aumenta-se a necessidade de efetivo, gerando assim maior necessidade de infraestrutura. Os consumos são maiores; energia e água, por exemplo, possuem aumentos significativos de custos quando os consumos aumentam expressivamente
	Impostos e tributos	Considerando um cenário congelado para este caso, os impostos não variam com o prazo do projeto, permanecendo os mesmos. Este caso considera os impostos federais, estaduais e municipais obrigatórios à empresa construtora
	Canteiro de obras	Ao se reduzir o prazo da obra, aumenta-se a necessidade de efetivo, gerando assim maior necessidade de infraestrutura
Imprevistos	Riscos e outros	Não considerado um possível impacto dos riscos e contingenciamento. Uma redução do prazo alta até aumentaria os riscos de segurança, porém foram desprezados neste desenvolvimento do método

Para melhor ilustrar o desenvolvimento matemático do método, faz-se uma análise prática utilizando a composição do Quadro 5 e as quantidades de serviço estimadas no Quadro 6, gerando-se o Quadro 11, no qual é possível observar a variabilidade de materiais, equipamentos e mão de obra em função do prazo da obra.

Considerando-se que na obra há 8.720 m³ de concreto de 40 Mpa para ser executados, a partir dos coeficientes da composição de serviço, pode-se calcular a quantidade necessária de cada um dos recursos de mão de obra, de equipamentos e de materiais.

Neste caso, iniciando por materiais, imagine que o projeto fosse executado em um mês, neste caso, haveria a necessidade de consumo de 21.800 m³ de cimento (8.720 m³ x 2,5 Kg/m³). Vale ressaltar que, para esta composição, o insumo cimento é apenas computado para o uso do bombeamento do concreto.

Caso o projeto fosse executado em cinco meses, a necessidade mensal média seria de 4.360 m³/mês (21.800 m³ / 5 meses). A variabilidade que se pode ter neste aspecto é a economia de escala gerada nas negociações de aquisições dos insumos, que tendem a ter maiores descontos em negociações de escala maior.

Considerando-se um cenário congelado, no qual as condições de variabilidade de inflações, aumento natural dos preços e outros parâmetros, que normalmente são reequilibradas via reajustamentos contratuais, são desprezadas. Não se pode dizer que o valor gasto com o cimento seria o mesmo no caso de o projeto ser feito em um mês ou em cinco meses, pois em uma única compra poderia ser gerada maior economia que em várias compras menores.

Para a mão de obra, caso este projeto fosse executado em um mês, necessitaria um efetivo médio (considerando-se 176 horas trabalhadas em um mês) de 99 serventes (8.720m³ x 2 hh/m³ / 176 h), 74 pedreiros (8.720 m³ x 1,50 hh/m³ / 176 h) e 5 encarregados civis (8.720 m³ x 0,10 hh/m³ / 176 h), totalizando 178 pessoas.

Caso a obra fosse executada em 5 meses, o efetivo médio mudaria para 20 serventes (99 serventes / 5 meses), 15 pedreiros (74 serventes / 5 meses) e 1 encarregado civil (5 serventes / 5 meses), totalizando 36 pessoas. Neste caso, mesmo considerando o cenário financeiro congelado, os custos finais de cada atividade poderiam acabar variando bastante. A envoltória financeira, ou o quantitativo de horas gastas trabalhadas, seria a mesma, similar ao caso do cimento abordado anteriormente, porém a razão desta variabilidade é que cada funcionário contratado exige da obra inúmeras outras variáveis de custos a ser consideradas que possuam variabilidade de acordo com o prazo de permanência, como, por exemplo, dimensionamento do canteiro de obras, custos de EPIs, custos de exames médicos, verbas rescisórias, treinamentos, entre outros. Tais custos não são diretamente dependentes do número de horas trabalhadas, mas, sim, do quantitativo do efetivo que haverá no projeto, daí, então, a possibilidade de variação de custos. A diferença está nos custos decorrentes de se contratar 178 ou 36 pessoas.

Em um orçamento comum, estes custos de canteiros, EPIs, rescisões e outros normalmente são diluídos e calculados com médias praticadas pelo mercado, como, por exemplo, no caso dos encargos sociais, os valores de verbas rescisórias são calculados com uma média de permanência do efetivo de 9 meses. Entretanto, para uma redução de prazo para cinco ou até um mês, os seus valores necessitam de ajustes.

O mesmo caso vale para os custos agregados, que compõem custos de mobilizações, alojamentos, entre outros. Eles também usualmente são calculados como médias que consideram uma permanência muito maior do efetivo.

Em relação aos equipamentos, na composição abordada especificamente, não existe nenhum equipamento vinculado à atividade, mas o mesmo raciocínio acima deveria ser imaginado. Caso na composição estivesse presente a utilização de caminhões betoneiras para o lançamento do concreto, fica claro que, se a obra fosse feita em um mês, muitos mais caminhões seriam necessários do que se ela fosse executada em cinco meses, acarretando, assim, custos de mobilização de equipamentos muito maiores.

Quadro 11 – Variabilidade HH x prazo

COMPOSIÇÃO			M³	H	
Concreto estrutural usinado FCK=40 MPA, com bombeamento			8.720	176	
RECURSOS DA COMPOSIÇÃO	UNID	COEF.	QTDE DE RECURSOS TOTAL	MÉDIA RECURSOS 1 MÊS	MÉDIA RECURSOS 5 MESES
Ferramentas	%	3,00	261,60		
Grupo: A – EQUIPAMENTO					
Custo agregado MO	H	3,60	31.392		
Encargos sociais	%	125,00	10.900		
Servente	H	2,00	17.440	99	20
Pedreiro	H	1,50	13.080	74	15
Encarregado civil	H	0,10	872	5	1
Grupo: B - MÃO DE OBRA					
Cimento P CP32-IV	KG	2,50	21.800	21.800	4.360
Taxa de bombeamento	M3	1,03	8.981	8.981	1.796
Usinagem de concreto	M3	1,03	8.981	8.981	1.796
Material para concreto	M3	1,03	8.981	8.981	1.796
Grupo: E – MATERIAIS					

A partir das exemplificações acima, foi realizada a discretização dos elementos da equação, isolando apenas os itens que podem variar, conforme o Quadro 9 e o Quadro 10, e que foram descritos neste item. Neste caso específico, são encargos sociais, ferramentas e custos agregados – canteiro, equipamentos de segurança, transporte.

Ao segregar todos os custos variáveis e invariáveis ao prazo da Equação (10), é possível chegar à Equação (12) para o cálculo dos custos totais da obra.

$$\begin{aligned}
 CT_t = & (MO'_o + Mat'_o + Eq'_o + CI'_o) \\
 & + \left(KRS \frac{M'_t}{t} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t} + \frac{Eq'_t}{t} (C) \right. \\
 & \quad \left. + KRS \frac{M'_t}{t} (D+E+F) - Mat'_o \frac{(G)}{t} + CI'_t \times t \right)
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Onde:

MO'_o – Custos totais de MO Direta sem considerar aspectos variáveis no prazo

Mat'_o – Custos totais de Mat. Diretos sem considerar aspectos variáveis no prazo

Eq'_o – Custos totais de Equip. Diretos sem considerar aspectos variáveis no prazo

S_m – Custo médio ponderado dos salários de todo o efetivo direto

A Equação (12) não se diferencia em nada da Equação (10), apenas foram isolados os itens que podem ter variação de custos conforme o prazo do projeto é modificado.

A parte 1 da Equação (12) são todos os itens de orçamento (mão de obra, materiais, equipamentos e custos iniciais de mobilização da obra) que não têm variação conforme o prazo. Já a parte 2 é composta por todos os custos que variam conforme o prazo. A seguir, o descritivo de cada um dos itens.

O primeiro item M'_t refere-se ao total de mão de obra orçada para a execução do projeto em um mês. A partir deste quantitativo, é possível dimensionar os impactos que o aumento ou a redução de prazo pode causar na mão de obra, isto porque, quando dividimos o M'_t pelo t (prazo da obra), obtemos o efetivo médio da obra.

$$M'_t = \frac{\sum_{i=1}^n CompMO_i \times Qtde_i}{hhMO_{mês}} \quad (13)$$

O item Eq'_t refere-se ao total de equipamentos orçados para a execução do projeto em um mês. Da mesma maneira, a partir deste quantitativo em mãos, é possível dimensionar os impactos que o aumento ou a redução de prazo pode causar nos quantitativos de equipamentos, isto porque, quando divide-se o Eq'_t pelo t (prazo da obra), obtém-se o quantitativo médio de equipamentos da obra.

$$Eq'_t = \frac{\sum_{i=1}^n CompEq_i \times Qtde_i}{hhEq_{mês}} \quad (14)$$

O item CI'_t refere-se ao custo indireto do efetivo adicionado aos gastos gerenciais mensais. A partir deste valor, multiplicando-se pelo prazo da obra em meses, pode-se obter o custo indireto.

$$CI'_t = CI_{mensal} \quad (15)$$

No Quadro 12, seguem descritos os indicadores restantes:

Quadro 12 – Indicadores da Equação de Prazo Ótimo

Item	Descrição
A	Custo de Rescisões
B	Perda de Produtividade (aumento efetivo)
C	Custo Mobilização Equipamentos
D	Custo Canteiro de Obras
E	Custos QSMS, treinamentos
F	Custos EPI + exames médicos
G	Economia de Escala - Suprimentos
R	Índice de Rotatividade de MO
S	Percentual de MO não subcontratada
K	Fator majorador de pico
H	Aumento de custos de horas extras

A partir da obtenção de todos os indicadores, para haver uma tratativa mais fácil do método, despreza-se a parte independente do prazo da Equação (12). Isto pode ser feito porque os custos provenientes dela permanecerão os mesmos, independentemente da variação do prazo do projeto. Além disso, a metodologia proposta pretende apenas analisar os impactos decorrentes da variação dos prazos.

Desta forma, segue a Equação (16), que indica quais os custos variáveis da obra e contendo apenas os indicadores que possuem variabilidade com o prazo.

$$CTA_t = \left(KRS \frac{M'_t}{t} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t} + \frac{Eq'_t}{t} (C) + KRS \frac{M'_t}{t} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t} \right) + (CI'_t \times t) \quad (16)$$

Neste caso, a parte 1 da Equação (16) representa os custos diretos variáveis com o tempo, e a parte 2 representa os custos indiretos.

A partir da Equação (16), fica fácil observar os fatores que variam diretamente proporcionais ao prazo e os que variam inversamente proporcionais ao prazo. Pode-se descobrir também a partir dela o ponto t onde o custo total do projeto será mínimo, para isto, deriva-se a equação em função do prazo t e iguala-se a zero, conforme a Equação (17).

$$\frac{\partial CTA_t}{\partial t} = \left(-KRS \frac{M'_t}{t^2} S_m(A) - M'_t S_m \frac{(B+H)}{t^2} - \frac{Eq'_t}{t^2} (C) \right. \\ \left. - KRS \frac{M'_t}{t^2} (D+E+F) + Mat'_0 \frac{(G)}{t^2} + CI'_t \right) = 0 \quad (17)$$

Ao se fazer a segunda derivada da Equação (17) e fazer a análise de declividade da curva, pode-se comprovar que o ponto obtido ao se igualar a zero a Equação (17) é um ponto de mínimo da curva. Desta forma, ao se manipular os termos, é possível chegar à Equação (18), que representa o prazo ótimo teórico do projeto.

$$t_{ótimo} = \sqrt{\frac{KRSM'_t(AS_m + D + E + F) + M'_t S_m(B + H) + Eq'_t(C) - Mat'_0(G)}{CI'_t}} \quad (18)$$

Ressalta-se que a Equação (18) não é limitada apenas aos indicadores A, B, C, D, E, F, G e H, podendo o orçamentista, durante o uso deste método, adequar o equacionamento incluindo quaisquer n fatores que se ache pertinentes ao projeto.

Para o cálculo da redução de custo entre um prazo t e o prazo t-ótimo, segue a Equação (19):

$$\Delta CA_{t_{ótimo}} = \left(KRS \frac{M'_t}{t} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t} + \frac{Eq'_t}{t} (C) \right. \\ \left. + KRS \frac{M'_t}{t} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t} + CI'_t \times t \right) \\ - \left(KRS \frac{M'_t}{t_{ótimo}} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t_{ótimo}} + \frac{Eq'_t}{t_{ótimo}} (C) \right. \\ \left. + KRS \frac{M'_t}{t_{ótimo}} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t_{ótimo}} + CI'_t \times t_{ótimo} \right) \quad (19)$$

No Gráfico 8 e no Gráfico 9, mostra-se como a curva da determinação do prazo ótimo seria representada nos projetos, considera-se o eixo x como representante do tempo e o eixo y como representante dos custos.

Gráfico 8 – Curva de determinação de prazo ótimo (apenas custos variáveis)

Pode-se notar no Gráfico 8 que os custos indiretos possuem uma curva bem definida representada por uma reta, já os custos diretos possuem uma curva decrescente em formato de uma hipérbole. A soma dos custos indiretos com os diretos forma uma curva que se aproxima de uma parábola, possuindo um ponto de mínimo.

O Gráfico 9, em sua parte superior, representa o custo total do projeto considerando-se a somatória dos custos variáveis ao tempo representado na parte inferior com os custos não variáveis.

Gráfico 9 – Curva de determinação de prazo ótimo (custos variáveis e invariáveis)

3.1.1 ABORDAGEM MATEMÁTICA – GENERALIZAÇÕES

A partir da determinação de todo equacionamento matemático para o cálculo da curva dos custos variáveis da obra em função do tempo e do prazo ótimo, pode-se utilizar o conhecimento de tais fórmulas e gráficos resultantes para possíveis generalizações matemáticas em diferentes particularidades de obras.

3.1.1.1 CASO 1 – PRAZO ESTIMADO MAIOR QUE PRAZO ÓTIMO

O primeiro caso a ser abordado é o da curva dos custos variáveis dada pela Equação (16). Neste caso, a partir da determinação das 16 variáveis desta equação, a curva dos custos variáveis pode ser traçada. O conhecimento desta curva para a obra que o orçamentista está estudando é de extrema importância, pois a partir dela ele consegue visualizar o potencial de redução de custos do projeto a partir da variação do prazo.

Não são todos os projetos que possuem ampla margem de variação dos custos em função do tempo. Neste caso, o orçamentista, detendo esta informação, pode adequar o cronograma da obra da maneira que seja mais factível para a empresa, pois os custos não variam muito com a variação dos prazos.

Em um caso oposto, caso a curva indique ampla variação dos custos em relação ao prazo, o orçamentista deve se atentar a esta particularidade e tentar conceber o

cronograma da obra visando ao máximo a redução dos prazos ou ao máximo a aproximação do prazo a ser adotado no orçamento ao prazo ótimo determinado.

Imagine que o orçamentista inicialmente tinha concebido em seu planejamento a duração da obra de 30 meses, que, ao calcular o prazo ótimo pela Equação (18), encontre um prazo ótimo de apenas 3 meses e que, ao traçar a curva da obra, se depare com um gráfico conforme o Gráfico 10.

Gráfico 10 – Curva de determinação de prazo ótimo (apenas custos variáveis)

Durante o cálculo do prazo ótimo, o prazo resultante da Equação (18), que, por ser estritamente matemático, muitas vezes se mostra inviável e inexecutável para o empreendimento, imagine a redução de um empreendimento originalmente concebido para 30 meses para apenas 3 meses.

Porém o conhecimento do prazo ótimo, e o quão longe o prazo concebido inicialmente para a obra estava dele, e o comportamento da curva de custos variáveis da obra são de fundamental importância, pois permitem ao orçamentista saber qual o potencial de economia que a obra pode ter com a variação dos prazos.

No Gráfico 10, a curva de custos totais variáveis se mostra muito íngreme, o que indica que qualquer tentativa para redução de prazos que o orçamentista execute pode gerar economia financeira considerável. Sendo assim, o orçamentista deve ao máximo tentar reduzir o prazo do projeto, tendendo ao prazo ótimo. A redução máxima de prazo que o orçamentista pode conceber é a máxima viável ou executável para as características da obra e das tecnologias existentes.

Como exemplo deste caso, a redução do prazo do projeto de 30 meses para 20 meses poderia gerar uma economia para a empresa de aproximadamente R\$ 20 MM.

Agora, considerando-se outro caso com um tipo diferente de comportamento da curva, imagine que o orçamentista inicialmente tinha concebido em seu planejamento a duração da obra para os mesmos 30 meses, que, ao calcular o prazo ótimo pela Equação (18), encontre um prazo ótimo de 18 meses e que, ao traçar a curva da obra, se depare com um gráfico conforme o Gráfico 11.

Gráfico 11 – Curva de determinação de prazo ótimo (apenas custos variáveis)

Neste caso do Gráfico 11, a curva vermelha de custos variáveis não se mostra muito íngreme para os prazos maiores que o prazo ótimo, o que indica que qualquer tentativa para a redução de prazos que o orçamentista execute não deve gerar economia financeira considerável. Sendo assim, o orçamentista pode adequar o seu cronograma às outras necessidades da empresa.

Como exemplo deste caso, a redução do prazo do projeto de 30 meses para 20 meses poderia gerar uma economia para a empresa que talvez não fosse tão significativa quando analisados todos os valores da obra, que, neste caso, se aproximaria de R\$ 500 mil.

Os dois casos acima descritos são casos que se enquadram no caso de o prazo originalmente estimado para o empreendimento ser maior que o prazo ótimo calculado, que são casos mais comuns, vendo que a formulação deste cálculo é totalmente matemática e pode apresentar prazos inviáveis ou até mesmo inexequíveis.

3.1.1.2 CASO 2 – PRAZO ESTIMADO MENOR QUE PRAZO ÓTIMO

Quando o prazo do empreendimento originalmente adotado é menor que o prazo ótimo, fato que pode ocorrer em situações mais raras, cuidados adicionais devem ser tomados, pois a curva neste ponto sempre apresenta variações muito mais agudas. Isto deve-se justamente pelo tipo matemático da curva ser hiperbólico, e, neste caso, o orçamentista deve aumentar o prazo da obra para o prazo ótimo calculado caso o objetivo seja a redução de custos.

3.1.1.3 DETERMINAÇÃO DAS ZONAS DE PROJETO NAS CURVAS DE CUSTO

Outro aspecto extremamente importante nas determinações do prazo ótimo teórico e da curva dos custos variáveis é que através deles é possível determinar zonas características de obras para as variações de prazo. Este procedimento é válido para todos os casos abordados anteriormente.

A partir do Gráfico 12, são perceptíveis os custos para o prazo inicialmente concebido para o projeto – 30 meses, para o prazo adotado – 20 meses e para o prazo ótimo – 3 meses. A partir destes pontos, pode-se determinar duas zonas no gráfico extremamente importantes – zona de prazos com possibilidades de mudança, caracterizada pela área em azul e onde o cronograma do projeto tem reais possibilidades de mudanças. Outra área importante é a zona de limitação tecnológica caracterizada pela área em vermelho no gráfico. Em tal zona, apesar de, com a redução dos prazos, ser possível realizar uma altíssima economia financeira, o agente crítico aqui são as limitações tecnológicas existentes no setor da construção, e é quando o projeto atinge o *crash time*, conforme abordado em todo o Item 2.3.

Cabe ao orçamentista, quando se encontra na zona de limitação tecnológica, verificar que caso a possibilidade de redução de custos nesta área seja muito grande, possíveis análises de mudanças tecnológicas podem ser adotadas, mesmo que a mudança da tecnologia seja mais cara, a economia no final pela redução de prazo pode ser ainda maior.

Gráfico 12 – Curva de determinação de prazo ótimo (apenas custos variáveis) – Zonas dos projetos

3.1.2 ABORDAGEM FINANCEIRA – RECEITAS E REMUNERAÇÃO

Não há dúvidas de que a modelagem financeira de um projeto é extremamente importante para o cálculo de indicadores de qualidade de investimento e retorno financeiro, como, por exemplo, TIR – Taxa Interna de Retorno, FCD – Fluxo de Caixa Descontado, rentabilidade, VLP – Valor Presente Líquido, entre outros. Entretanto o presente trabalho não tem um enfoque direto nestas áreas e, sim, nos aspectos isolados dos custos das obras, conforme abordado anteriormente.

A particularidade das receitas das obras, com suas inúmeras variações, faz com que a extrapolação matemática do método de cálculo do prazo ótimo, levando em conta as receitas, fique extremamente complexa. A análise passaria de pontual para uma análise detalhada de cada período de fluxo financeiro da obra, perdendo, desta forma, o intuito geral do desenvolvimento pretendido.

Ressalta-se, entretanto, que os custos e as receitas das obras são fortemente correlacionados. Desta forma, a metodologia desenvolvida possibilita aos orçamentistas e às empresas obter um ponto de partida da região de menores custos para a modelagem e estruturação financeira da obra, facilitando e reduzindo muito o trabalho.

Abaixo, segue uma descrição de como a abordagem incluindo as receitas pode ser feita, entretanto não é dado um detalhamento muito grande, uma vez que este não é o intuito do trabalho.

3.1.3 DESEMBOLSO FINANCEIRO

Em relação aos custos, a metodologia adota a premissa de invariabilidade ou “congelamento” do cenário no que tange a desvalorização dos insumos e serviços por inflação ou aumento dos preços, uma vez que na grande parte das obras existentes há instrumentos contratuais entre contratante e contratado que possibilitam tais correções.

Sob o aspecto do custo do capital investido, em relação aos desembolsos financeiros e à remuneração do capital, quando consideram-se as taxas de juros, existem dois possíveis cenários.

Um deles é a análise do ponto de vista do proprietário ou investidor, em que certamente a redução dos prazos culmina em aumento dos desembolsos. Mesmo que haja a redução dos custos, dependendo das taxas de juros existentes no local da obra, os ganhos na economia dos custos devido à redução de prazo podem não ultrapassar as possíveis perdas de investimento de capital. Para este caso, sugere-se que seja feita a seguinte análise:

$$\Delta F_{t_{\text{ótimo}}} = \left(\frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_t}{(1+i)^t} \right) - \left(\frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_t}{(1+i)^{t_{\text{ótimo}}}} \right) \quad (20)$$

Onde:

$\Delta F_{t_{\text{ótimo}}}$ – Variação dos ganhos financeiros, considerando os fluxos de caixa

F_n – Fluxo financeiro no mês n

t – Prazo do projeto (maior que o prazo ótimo)

i – Taxa de juros ou de remuneração financeira

$t_{\text{ótimo}}$ – prazo ótimo do projeto calculado pelo método

$$\text{Análise de Fluxos} = \Delta F_{t_{\text{ótimo}}} - \Delta CA_{t_{\text{ótimo}}} \quad (21)$$

Onde:

$\Delta CA_{t_{\text{ótimo}}}$ – Redução de custos da redução do prazo t para o prazo t – ótimo

O resultado da Equação (21) contabiliza os ganhos de custos devido à mudança de um projeto do prazo t para o prazo t -ótimo menos os ganhos ou perdas de capital que possam ocorrer devido ao aspecto da variação dos desembolsos. Caso o resultado seja maior que zero, a adoção do prazo ótimo deve fazer sentido ao

investidor, caso contrário, não faria sentido. Entretanto é prematuro afirmar que não faria sentido, pois existem inúmeros projetos nos quais mesmo que a entrega prematura seja mais custosa, os possíveis ganhos decorrentes desta entrega podem extrapolar as perdas. Um exemplo pode ser o caso de uma fábrica, imagine que ao final do cálculo da análise de fluxo, a redução do projeto em 3 meses para o prazo ótimo gere uma perda de R\$ 1 MM, se a cada mês a fábrica pode gerar um lucro de R\$ 4 MM, tal redução faz sentido, mesmo que na análise de fluxos se chegue a um valor negativo.

Um segundo caso de análise é sob o ponto de vista do executor, neste caso, a mesma formulação das Equações (20) e (21) deve ser utilizada, porém, de maneira geral, na grande maioria dos contratos existentes, o executor vai tendo fluxos financeiros de receita de acordo com os avanços, sendo assim, os custos de desembolsos financeiros são muito inferiores quando comparados ao primeiro caso, pois, a cada desembolso periódico do executor, há uma contrapartida de receita. Desta forma, de maneira bem mais simplista, pode-se até mesmo considerar que as variações de ganhos financeiros são insignificantes ao se compará-las com os outros valores.

Quando as variações de ganho ficam insignificantes, a análise de fluxo tende a se limitar a apenas à análise inicial do trabalho – apenas aos custos.

3.1.4 PROCEDIMENTOS E ETAPAS DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para a aplicação do método, o orçamentista deve estruturar o estudo em algumas etapas fundamentais que são descritas a seguir.

1ª Etapa – Caracterização do objeto

Nesta primeira etapa, o orçamentista deve fazer uso dos recursos disponibilizados no edital da obra, caso exista, nos requisitos solicitados pelo cliente e em toda a documentação-base disponível.

É importante que o orçamentista identifique parâmetros de custo-base do projeto, prazo original requisitado, quantidades e composições de projeto, projetos básicos e executivos, além de todos os parâmetros já detalhados no Item 2.1.2.

A identificação destes parâmetros é importante, pois eles formarão uma linha-base para servir de comparação com os futuros custos e prazos a ser determinados, além de fornecer os dados necessários para que as curvas de variabilidade entre os custos e prazos possam ser traçadas.

2ª Etapa – Parâmetros de referência da equação dos custos variáveis

No cálculo das variáveis das equações de variabilidade dos custos e prazos, o orçamentista deve determinar 16 parâmetros fundamentais para a concepção da curva de variabilidade dos custos e do prazo ótimo teórico, conforme as Equações (16) e (18). O Quadro 13 mostra as variáveis e como elas devem ser identificadas.

Quadro 13 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo

Item	Descrição	Determinação	Resultado Exemplo
M't	Quantitativo total de mão de obra orçada para a execução do projeto em um mês	A determinação deste fator envolve a multiplicação de todos os quantitativos de serviços da obra levantados multiplicados por suas respectivas composições para mão de obra	3.540 funcionários, sendo 1.500 pedreiros, 1.000 carpinteiros, 1.000 serventes, 40 encarregados
Eq't	Quantitativo total de equipamentos orçados para a execução do projeto em um mês	A determinação deste fator envolve a multiplicação de todos os quantitativos de serviços da obra levantados multiplicados por suas respectivas composições para equipamentos	453 equipamentos, sendo 150 escavadeiras, 100 caminhões caçamba, 100 pás carregadeira, 100 retroescavadeiras, 3 caminhões pipa
Cl't	Custo indireto do efetivo mais gastos gerenciais mensais	A determinação deste fator envolve a determinação do organograma e do efetivo indireto médio mensal da obra, além da determinação dos custos gerenciais médios mensais	R\$ 154.000,00 de custos indiretos médios mensais, sendo R\$ 100.000,00 referentes aos salários de equipe e R\$ 54.000,00 referentes aos custos de manutenção de canteiro
Mat'0	Custos total dos materiais para a elaboração da obra	A determinação deste fator envolve a multiplicação de todos os quantitativos de serviços da obra levantados multiplicados por suas respectivas composições para materiais	R\$ 350.000,00 de custos de aquisição de materiais, sendo compostos por todos os materiais necessários à execução da obra: cimento, brita, tijolos, entre outros
Sm	Salário Médio Mensal dos Funcionários de Produção	A determinação deste valor deve ser feita pela média ponderada dos salários da produção e seus respectivos quantitativos	R\$ 3.158,47 – Valor de salários médios dos funcionários de produção da obra ponderados pelas quantidades.
A	Custo Rescisões	A determinação dos custos das rescisões trabalhistas envolve a aplicação e análise de parâmetros setoriais e de legislação que contemplam os passivos que ocorrem durante a rescisão dos funcionários. Fatores como aviso prévio, aviso prévio indenizado, férias, 13º proporcional, multas de FGTS, entre outros, devem ser considerados	Índice 1,85, ou seja, para cada funcionário contratado que será demitido no futuro, 1,85 salário adicional deverá ser pago
B	Redução de Produtividade	Deve ser determinada uma constante fixa que seja inversamente variável ao prazo e que determine a redução da produtividade em decorrência das reduções de prazo do projeto	Constante de 1,12, ou seja, aumento nos custos de mão de obra em 12% em função das perdas de produtividade. Quanto mais pessoas trabalhando em uma mesma atividade,

			maior a chance do aumento de improdutividade. É um fator empírico e deve ser estimado baseado na experiência do orçamentista
C	Custo de Mobilização dos Equipamentos	A determinação dos custos de mobilização dos equipamentos envolve a determinação das distâncias de onde os equipamentos vão sair até a obra e a cotação ou estimativa dos preços para que tal transporte seja efetuado. A partir da determinação destes fatores para cada um dos equipamentos, os custos podem ser calculados	R\$ 856,00 de custos médios para a mobilização de cada um dos equipamentos.
D	Custo Canteiro de Obras	A determinação dos custos dos canteiros de obras e instalações deve ser feita conforme cotações de preços para esta implantação, do uso do histórico existente na empresa e por estimativas existentes em revistas técnicas e especializadas	R\$ 763,00 por funcionário. Com o aumento do número de funcionários no projeto devido à redução de prazos, as estruturas de canteiro devem aumentar, desta forma uma média de acréscimo de custo por funcionário deve ser estabelecida
E	Custos QSMS, treinamentos	A determinação dos custos de treinamentos de QSMS deve ser feita através da estimativa das horas médias expendidas durante os treinamentos necessários de QSMS da empresa, integrações e atividades complementares. A partir da determinação do tempo médio expendido para tais atividades, multiplica-se tal valor pelo valor médio horário do funcionário	R\$ 45,30 é o custo de treinamentos que cada funcionário tem ao entrar no projeto devido às integrações, aos treinamentos de qualidade, entre outros
F	Custos EPI + Exames médicos	A determinação dos custos de ferramentas adicionais e dos EPIs que a empresa fornece aos funcionários também deve ser realizada a partir de cotações de preços e média de gastos estimados. Estes fatores se caracterizam por ter uma quantidade fixa durante o início e término do projeto (exames admissionais e demissionais) e também por substituição ou acompanhamento (exames	R\$ 143,50 fixos + R\$ 7,32 por mês por funcionário. Os R\$ 143,50 podem ser computados como os custos de exames admissionais e demissionais que cada funcionário deverá fazer, além da soma dos uniformes e EPIs que cada funcionário recebe. Os R\$ 7,32 são referentes aos custos de trocas e

		periódicos)	substituição de uniformes e EPIs, além dos custos médios de exames periódicos
G	Economia de Escala – Suprimentos	A determinação desta constante inversamente proporcional ao prazo implica em estimar algum desconto no valor de todos os materiais que serão adquiridos no projeto. A compra de um quantitativo expressivo em um prazo menor gera economia de escala e proporciona maiores descontos nas negociações	4% de economia no valor total dos materiais do projeto em função da economia gerada ao se comprar os materiais em ordens de compras mais expressivas
R	Índice de Rotatividade de MO	A determinação do índice de rotatividade de MO é obtida através da experiência prévia do orçamentista e das memórias existentes de projetos em obras e regiões similares	Índice 1,30, o qual majora o quantitativo de mão de obra calculado devido à rotatividade da equipe
S	Percentual de MO não subcontratada	A determinação do percentual de MO não subcontratada envolve a expertise do orçamentista determinar o tipo de obra e o percentual médio de serviços especializados que normalmente são subcontratados. Algumas obras inclusive possuem instrumentos contratuais que limitam ou exigem um percentual mínimo de subcontratação	Percentual 75%, ou seja, 75% do efetivo da obra será contratado diretamente pela empresa construtora, os outros 25% serão subcontratados em diversas outras empresas
K	Fator majorador de pico	A determinação do fator majorador de pico envolve a aplicação de um fator de pico que faz com que seja considerada a maior quantidade de funcionários possível durante a obra. Tal fator pode ser calculado utilizando-se da particularidade de as obras seguirem um padrão de avanço muito semelhante à Curva S. O detalhamento de como calcular está descrito no Item 2.2	Índice 1,6, ou seja, no pico, a maior quantidade de funcionários que a obra possuirá será de 1,6 multiplicado pela quantidade média mensal de funcionários (que pode ser determinada por $M \cdot t$ dividido pelo prazo da obra)
H	Aumento de Horas Extras	Constante fixa inversamente proporcional ao prazo do projeto. Ao se reduzir o prazo de um projeto, além de ser gerados recursos de MO adicionais, há uma tendência de elevação nas horas extras (que são mais caras que as horas normais)	13%, valor de aumento nos custos devidos

É importante ressaltar que a determinação dos diversos fatores elencados acima envolve cálculos complexos e que certamente exigem o uso de *softwares* de mercado disponíveis. Alguns exemplos de *softwares* são Microsoft Excel e Project, Primavera P3, SAP, ou *softwares* previamente adaptados para a empresa, como, por exemplo, os da Totvs.

Para o cálculo dos fatores B, G e H, foram utilizadas as Equações (22), (23) e (24).

$$B(t) = \frac{1}{t} \times \text{Perda Máxima de Produtividade} \quad (22)$$

$$G(t) = \frac{1}{t} \times \text{Desconto máximo } G \quad (23)$$

$$H(t) = \frac{1}{t} \times \text{Aumento máximo de horas extras} \quad (24)$$

Onde t é o prazo do Projeto.

3ª Etapa – Determinação do prazo ótimo teórico

A partir da determinação dos 16 parâmetros do item anterior, o orçamentista já estará munido de informações suficientes para o cálculo da curva dos custos variáveis e para a determinação do prazo ótimo. Basta fazer a substituição dos parâmetros nas Equações (16) e (18).

$$CTA_t = \left(KRS \frac{M'_t}{t} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B + H)}{t} + \frac{Eq'_t}{t} (C) + KRS \frac{M'_t}{t} (D + E + F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t} \right) + (CI'_t \times t) \quad (25)$$

$$t_{\text{ótimo}} = \sqrt{\frac{KRS M'_t (AS_m + D + E + F) + M'_t S_m (B + H) + Eq'_t (C) - Mat'_0 (G)}{CI'_t}} \quad (18)$$

4ª Etapa – Estudo da curva de custos variáveis

Conforme abordado em todo o Item 3.1.1 e em seus subitens, a identificação do formato da curva e seu ponto ótimo gerado pelas Equações (16) e (18) possibilita ao

orçamentista deter o conhecimento sob a potencialidade de geração de economia do projeto com as variações do prazo. Detendo tal conhecimento, o orçamentista possui uma excelente ferramenta para a identificação do tipo de projeto que está lidando.

Esta etapa é fundamental e serve como ponto-chave para o orçamentista ou a empresa decidir se dará continuidade na análise nas etapas 5ª, 6ª e 7ª, ou encerrará a análise da variabilidade entre custos, pois ela se mostrou ineficaz para este tipo específico de projeto.

5ª Etapa – Verificação se o prazo estimado inicialmente é maior ou menor que o prazo ótimo determinado

No caso da identificação de alto potencial de economia com as reduções de prazo, cabe ao orçamentista identificar se o prazo inicialmente concebido para o projeto é maior ou menor que o prazo ótimo calculado pela Equação (18).

Caso o prazo ótimo seja menor que o prazo inicialmente concebido para o projeto, o orçamentista deve fazer a reprogramação do cronograma ao menor prazo possível que se aproxime do prazo ótimo caso o objetivo seja a redução dos custos.

Caso o prazo ótimo seja maior que o prazo inicialmente concebido, o orçamentista deve estar ciente de que o projeto se encontra em uma região de alta variabilidade de custos conforme a variação dos prazos, fato que eleva o potencial risco do projeto, neste caso, o orçamentista deve aumentar o cronograma do projeto para o prazo ótimo pré-determinado caso o objetivo seja a redução dos custos.

Caso o prazo ótimo já seja igual ao prazo pré-concebido para o projeto, a análise está finalizada e o prazo deve ser mantido.

6ª Etapa – Recálculo e determinação do cronograma ao ponto-limite de acordo com a definição adotada na etapa anterior

Nesta etapa, o orçamentista deve fazer análises do cronograma do projeto aumentar ou reduzir os prazos conforme determinado no item anterior.

Quando o caso é de aumento do prazo, tal atividade não exige alta complexidade, uma vez que esta atividade não envolve etapas críticas e o cronograma se mostra muito mais flexível.

Já a redução dos prazos é muito mais complexa, pois certas atividades do projeto possuem prazos que não podem ser reduzidos devido às restrições tecnológicas, como, por exemplo, cura e resistência do concreto, duração de um tipo específico de fundação, entre outros. Neste caso, o orçamentista adequa o cronograma ao período mínimo possível, respeitando todas as limitações de prazo destas atividades que exigem cuidado especial. Neste ponto, cabe ao orçamentista determinar o *crash time*, conforme abordado no Item 2.3.

7ª Etapa – Cálculo final do potencial de economia utilizando parâmetros do cronograma recalculado

Uma vez que foi estabelecido o novo prazo que mais se aproxima do prazo ótimo pré-concebido, o cálculo final do potencial de economia a ser gerado pelo aumento

ou pela redução de prazos é um ótimo indicador. Tal valor pode ser determinado pelo uso da Equação (19).

$$\begin{aligned} \Delta CA_{t_{\text{ótimo}}} = & \left(KRS \frac{M'_t}{t} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t} + \frac{Eq'_t}{t} (C) \right. \\ & + KRS \frac{M'_t}{t} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t} + CI'_t \times t \left. \right) \\ & - \left(KRS \frac{M'_t}{t_{\text{ótimo}}} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t_{\text{ótimo}}} + \frac{Eq'_t}{t_{\text{ótimo}}} (C) \right. \\ & + KRS \frac{M'_t}{t_{\text{ótimo}}} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t_{\text{ótimo}}} + CI'_t \times t_{\text{ótimo}} \left. \right) \end{aligned} \quad (19)$$

A partir do cálculo do valor de economia com a variabilidade dos prazos, a empresa certamente possui um melhor direcionamento e competitividade para a participação de concorrências de projetos, além de certamente um melhor conhecimento do projeto em si.

4 ESTUDOS DE CASO

Neste tópico, serão feitos dois estudos de caso com a aplicação do método proposto. O primeiro estudo será de uma obra de infraestrutura pesada – ponte de 1,6 Km, e o segundo caso será de um condomínio residencial.

Ressalta-se o primeiro estudo de caso é o mais importante no contexto deste trabalho, uma vez que o autor já era bastante familiarizado com os orçamentos em obras de infraestrutura pesada. O segundo caso foi feito para fins comparativos, mas o autor não tinha tanta familiaridade nestas orçamentações quando comparado ao primeiro caso.

O estudo prático em dois tipos distintos de obras objetiva avaliar a aplicabilidade do método aqui proposto e as diferenças que ocorrem em cada um dos tipos.

4.1 ESTUDO DE CASO 1 – PONTE 1,6 KM

Para a aplicação da metodologia, utiliza-se todas as sete etapas desenvolvidas no Item 3.1.4.

4.1.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO

- O escopo do projeto é a execução de serviços necessários para a construção de uma ponte rodoviária sobre rio e seus acessos à rodovia. A ponte possui extensão de 1,6 Km e é composta por elementos pré-moldados até a transposição do canal, onde é utilizado o método de balanço sucessivo para vencer um vão de 100 metros. Faz também parte do escopo a implantação de rodovia em pista simples, incluindo serviços de terraplanagem, drenagem e pavimentação flexível, totalizando 4,5 Km.
- **Regime de Contratação:** 8.666/93 – Regime de Empreitada por Preço Unitário
- **Modo de disputa:** Sessão de entrega da Proposta Comercial
- **Preço-base órgão:** R\$ 150 MM (Base 2016)
- **Prazo de Contrato Original Proposto:** 36 meses
- **Principais atividades:**
 - Terraplanagem;
 - Pavimentação;
 - Estacas escavadas em solo e rocha com apoio náutico;
 - Mesoestrutura com apoio náutico;
 - Vigas pré-moldadas com lançamento de treliças;

- Balanço sucessivo.
- **Área para canteiro de obra e industrial:** aproximadamente 16.000 m², sendo a cobertura vegetal de gramíneas rasteiras. Não é necessária a supressão de indivíduos arbóreos.
- **Valores do orçamento:** ano de 2017.

Plantas e referências do projeto e maior detalhamento dos sistemas construtivos:
Inicialmente segue toda a planta do perfil da ponte a ser construída.

Figura 3 – Perfil da ponte a ser construída. Fonte: Autor

Infraestrutura e fundações

- **Estacas:** as estacas da ponte foram concebidas em estaca escavada em solo sob o leito do rio. Os diâmetros variam de 1,40 m a 1,60 m.

Figura 4 – Exemplo de metodologia de execução de estacas escavadas.

Fonte: <https://www.topempresas.com.br/perfuratriz-estaca-escavada>

- **Blocos:** mais de 3 mil m³ de concreto de blocos executados, alguns executados em solo, outros sobre o leito do rio. A seguir, seguem exemplos da metodologia executiva e dos blocos sobre o leito do rio.

Figura 5 – Exemplo de metodologia executiva de blocos. Fonte: Autor

Mesoestrutura

- **Pilares:** pilares circulares executados em forma trepante, além de pilares parede em forma retangular para os vãos centrais.

As formas trepantes são constituídas de módulos metálicos, enrijecidos e contraventados horizontal e verticalmente com perfis metálicos com andaimes laterais e inferiores acoplados à estrutura da forma. A movimentação ascensional da forma de cada lance de concretagem para o subsequente será feita através de macacos hidráulicos, acionados por bombas hidráulicas.

Figura 6 – Pilares executados em formas trepantes – Lances de concretagem. Fonte: Autor

- **Travessas:** as travessas são estruturas retangulares de concreto moldadas *in loco*. Elas servirão de apoio para as futuras vigas pré-moldadas.

Figura 7 – Travessas moldadas *in loco* – Vista superior do Pilar. Fonte: Autor

Superestrutura

- **Vigas:** A concepção do projeto apresenta elementos pré-moldados desde os acessos até a transposição do canal de navegação na calha do rio. A utilização de vigas pré-moldadas protendidas tem a vantagem de ser executada concomitantemente com outras etapas da obra, bem como permitir o lançamento dessas vigas através de treliças ao longo dos apoios sem a utilização de escoramento. As vigas pré-moldadas chegam a ter 35 metros de comprimento e possuem formas apresentadas na Figura 8.

Figura 8 – Seção típica das vigas pré-moldadas e protendidas. Fonte: Autor

Figura 9 – Seção transversal de vigas pré-moldadas. Fonte: Autor

- **Carrelones:** a metodologia de transporte das vigas pré-moldadas do canteiro de obras até o ponto de içamento das treliças lançadeiras é feita através de carrelones. Os carrelones são equipamentos que são compostos de dois pórticos móveis com capacidade de até 70 toneladas, montados sobre pneus, que são desprovidos de tração e necessitam de uma carregadeira (Tipo CAT 930 ou 960) para a tração do conjunto e o transporte das vigas.

Figura 10 – Carrelones para o transporte de vigas pré-fabricadas. Fonte: Autor

- **Treliças lançadeiras:** a metodologia de montagem das vigas pré-moldadas será feita por meio de treliças lançadeiras. O equipamento opera sobre apoios especiais deslocando vigas desde a cabeceira da ponte até os respectivos apoios. Tais treliças têm capacidade de lançar vigas de até 140 toneladas e para vãos de até 45 metros. Além dos módulos treliçados principais, o conjunto da treliça é composto por torres, binários, carrinhos, fisquetes e gerador.

Figura 11 – Treliza lançadeira de vigas. Fonte: Autor

- **Tabuleiro:** possuindo largura de aproximadamente 16 m e comprimento de 35 m, os tabuleiros são estruturados pelas vigas pré-moldadas protendidas e por pequenas placas de pré-lajes. Após toda a montagem dos elementos pré-moldados, é realizado o capeamento do tabuleiro.

Figura 12 – Tabuleiro da ponte, nas zonas de aproximação do vão central. Fonte: Autor

- **Balanços sucessivos:** Em função da sua capacidade em vencer o vão de 100 m, foi adotada a técnica de balanço sucessivo para a transposição do canal de navegação na calha do rio.

Figura 13 – Metodologia executiva dos balanços sucessivos. Fonte: Autor

Figura 14 – Metodologia executiva dos balanços sucessivos. Fonte: Autor

Figura 15 – Balanços sucessivos. Fonte: Autor

4.1.2 PARÂMETROS DE REFERÊNCIA DAS VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO

Para o cálculo das variáveis das equações dos custos e prazos, deve-se determinar os 16 parâmetros fundamentais para a concepção da curva de variabilidade dos custos e do prazo ótimo teórico, conforme as Equações (16) e (18) e Quadro 13. Do Quadro 14 ao Quadro 39, é apresentada cada uma das variáveis do Quadro 13 particionada juntamente com as memórias e justificativas de cada um dos itens da equação.

Quadro 14 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item M't

Item	Descrição	Determinação	Resultado
M't	Quantitativo total de mão de obra orçada para a execução do projeto em um mês	A determinação foi feita pela multiplicação de todos os quantitativos de serviços da obra levantados multiplicados por suas respectivas composições para mão de obra	3.469 funcionários, sendo 295 pedreiros, 620 carpinteiros, 1.764 serventes, 60 encarregados, entre outros

Com o uso dos dados do Quadro 15, é possível efetuar o cálculo do item M't que equivale ao quantitativo total de mão de obra direta para executar o projeto em apenas um mês. O valor total de homem-hora direta estimada para todo o empreendimento foi de 610.463 horas, e foi obtido através do uso de *softwares* de cálculo, em que todos os quantitativos de serviços, conforme o

Quadro 16, foram multiplicados por suas respectivas composições unitárias de serviços. A quantidade do efetivo em um mês foi obtida pela divisão das 610.463

horas por 176 horas, que é o período médio efetivamente trabalhado pelos funcionários por mês, gerando, assim, uma necessidade de aproximadamente 3.469 funcionários caso o projeto fosse executado em um único mês. Algumas memórias das composições dos serviços podem ser encontradas no Apêndice A.

Quadro 15 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item M't

	176 HH	Ponderações		
Função	HH Trab.	Qtde Mês	Salário (R\$)	
Armador	13.206	75	1.135	85.227
Carpinteiro	109.076	619	1.835	1.137.41
Pedreiro	51.771	294	1.135	334.114
Ajudante/servente	310.448	1.763	1.106	1.952.365
Operador/marteleteiro/motorista	113.758	646	1.213	784.141
Eletricista/encanador/soldador/pintor	1.760	10	1.135	11.358
Encarregado	10.444	59	5.032	298.621
Total	610.463	3.469		4.603.244,45
Salário Médio				1.327

Quadro 16 – Quantitativo de resumo de serviços

Item	Nome	Und	Qtde
1	Fornecimento, preparo e colocação de Aço CA-50, inclusive mão de obra	KG	1.263.727
2	Apoio náutico para a execução das obras (infraestrutura, mesoestrutura)	MÊS	28
3	Lançamento e posicionamento de vigas pré-moldadas de 50 tf	UM	280
4	Concreto estrutural usinado FCK=40 MPA, com bombeamento	M3	8.720
5	Esc. carga transp. mat 1ª cat dmt 3000 a 5000m c/e	M3	660.641
6	Gabião colchão esp. 0,30m 6x8zn/al+pvc d=2,00mm	M2	14.395
7	Gabião colchão esp. 0,30m 6x8zn/al+pvc d=2,00mm	M2	14.395
8	Fornecimento, preparo e colocação de formas Aço CA-50	KG	539.544
9	Fornecimento, preparo e colocação de formas Aço CA-50	KG	535.005
10	Fornecimento, preparo e colocação de Aço CA-50, inclusive mão de obra	KG	396.143
11	Fornecimento e instalação de geogrelhas - Macgrid WG760	M2	26.313
12	Fornecimento e instalação de geogrelhas - Macgrid WG760	M2	26.313

13	Fornec. e lanç de concreto usinado fck=25MPa submerso	M3	4.859
14	Aço para lajes	KG	393.660
15	Conc.estr.fck=30 MPa-contr.raz.uso ger.conf.e lanç	M3	4.552
16	Esc. carga transp. mat 1ª cat dmt 8001 a 9000m c/e	M3	223.283
17	Cravação de camisa metálica Ø1,40m em solo - equip. sobre lâmina d'água (P16 ao P24)) - inc	M	711
18	Concr.estr.fck=30mpa-c.raz.c/a dit.conf.lanc.AC/BC	M3	4.259
19	Fornec. de treliça para balanços sucessivos p/ aduelas de 4,5 m com capacidade para 100 toneladas	M2	3.252
20	Cravação de camisa metálica Ø1,60m - equip. sob lâmina d'água (P21 E 22) - inc	M	480
21	Esc. carga transp. mat 1ª cat dmt 9000 a 10000m c/e	M3	153.823
22	Fornecimento, preparo e colocação de formas aço CA-50	KG	266.830
23	Forma de placa compensada resinada	M2	58.384
24	Fornecimento, preparo e colocação de formas aço CA-50	KG	298.861
25	Concretagem de Lajes	M3	3.280

Além dos quantitativos de horas necessárias, também foi computado o valor de remuneração média ponderada para esses trabalhadores, tal parâmetro também será utilizado mais à frente para o cálculo das rescisões e de outros fatores. O valor final computado foi de R\$ 1.327 de remuneração média de base, conforme o Quadro 15 e o Quadro 17.

Quadro 17 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item Sm

Item	Descrição	Determinação	Resultado
Sm	Salário Médio Mensal dos Funcionários de Produção	A determinação deste valor deve ser feita pela média ponderada dos salários da produção e seus respectivos quantitativos	R\$ 1.327 – Valor de salários médios dos funcionários de produção da obra ponderados pelas quantidades, conforme abordado acima.

Para o cálculo do fator Mat'0, deve-se somar todos os custos de materiais que compõem a obra. O Quadro 18 contém o resumo dos principais materiais; e o Quadro 19, o seu valor final.

Quadro 18 – Resumo dos principais materiais da Obra

Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Custo Unitário	Custo
1	Aço CA-50 - bitola média - Cortado e dobrado	KG	3.501.287	2,72	9.523.500
2	Cimento portland – granel	KG	11.450.891	0,38	4.351.338
3	Geogrelhas - Macgrid WG760	M2	57.889	69	3.994.389
4	Brita graduada	M3	27.149	104	2.828.993
5	Geogrelhas - Macgrid WG460	M2	71.904	30	2.193.096
6	Camisa metálica para estacas escavadas com D=1,40 m, e=10,00 mm	M	1.286	1.638	2.108.191
7	Gabião tipo colchão reno esp. 0,30m 6 x 8zn/al+pvc d=2,00 mm	M2	28.790	65	1.881.138
8	Brita	M3	23.411	78	1.826.123
9	Cordoalha para protensão CP-190 RB, D=12,7mm	KG	415.950	4,09	1.701.236
10	Neoprene fretado	KG	4.300	390	1.677.310
11	Óleo Diesel S-10	L	527.929	2,70	1.425.409
12	Cimento asfáltico de petróleo - CAP-50/70	T	737	1.890	1.393.137
13	Óleo diesel S-500	L	514.398	2,62	1.347.723
15	Camisa metálica para estacas escavadas com D=1,60 m, e=12,5 mm	M	489	2.376	1.163.451
16	Fornecimento de massa asfáltica - CBUQ	T	7.059	119	840.782
17	Fornecimento de massa asfáltica - BINDER	T	6.342	119	755.403
18	Pedra de mão	M3	8.068	77	627.926
19	Areia lavada	M3	14.800	37	547.619

Quadro 19 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item Mat'0

Item	Descrição	Determinação	Resultado
Mat'0	Custo total dos materiais para a elaboração da obra	A determinação deste fator envolve a multiplicação de todos os quantitativos de serviços da obra levantados multiplicados por suas respectivas composições para materiais	R\$ 43.618.390 de custos de aquisição de materiais, sendo compostos por todos os materiais necessários à execução da obra: cimento, aço, agregados.

O Quadro 20 aborda os quantitativos de equipamentos e seus custos de mobilização.

Quadro 20 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Itens Eq't e C

Item	Descrição	Determinação	Resultado
Eq't	Quantitativo total de equipamentos orçados para a execução do projeto em um mês	A determinação deste fator foi feita pela multiplicação de todos os quantitativos de serviços da obra levantados multiplicados por suas respectivas composições para equipamentos	685 equipamentos, sendo 32 escavadeiras, 348 caminhões caçamba, 21 motoniveladoras, 42 retroescavadeiras, entre outros
C	Custo Mobilização Equipamentos	A determinação dos custos de mobilização dos equipamentos foi feita pela determinação das distâncias de onde os equipamentos vão sair até a obra e a cotação ou estimativa dos preços para que tal transporte seja efetuado. A partir da determinação destes fatores para cada um dos equipamentos, os custos foram calculados.	R\$ 2.049 de custos médios para a mobilização de cada um dos equipamentos.

Com o uso dos dados do Quadro 21, foi possível efetuar o cálculo do item Eq't que equivale ao quantitativo total de equipamentos para executar o projeto em apenas um mês. O valor total de horas de equipamentos a ser trabalhadas, apresentado na primeira coluna da tabela e que totaliza 120.479 horas no projeto, foi também obtido através do uso de *softwares* de cálculo, em que todos os quantitativos de serviços, conforme o Quadro 21, foram multiplicados por suas respectivas composições de serviços.

Quadro 21 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Itens Eq't e C

Descrição	Und	Dist. Média 600 Km		
		HH Trab.	Qte	R\$/Km
Lancha ambulância	H	1.799	10,23	12,68
Caminhão basculante 14,0m3 - 20 Ton (279 KW)	H	61.189	347,67	0,69
Caminhão betoneira	H	3.688	20,96	0,69
Cavalo mecânico com carreta dolly para o transporte de vigas	H	2.179	12,38	0,69
Caminhão guindauto 6 Ton	H	4.063	23,09	0,85
Caminhão tanque d'água 18.000 L	H	7.062	40,13	0,69
Carregadeira com pneus - 3,10 m3 (127Kw)	H	579	3,29	13,13
Central dosadora para concreto cap.80m3/h	H	484	2,75	38,36
Placa vibratória 2 KW - (compactador manual)	H	1.810	10,29	0,07
Escavadeira hidráulica com esteiras - 35 Ton	H	5.506	31,29	19,18

Grade aradora com discos	H	2.950	16,76	0,34
Grupo gerador diesel - 100/135 kVA (43 KW)	H	7.280	41,36	0,34
Guindaste sobre rodas - 30 t < Cap >= 70 t	H	1.278	7,26	1,17
Motoniveladora (93 KW)	H	3.669	20,85	14,67
Retroescavadeira (57 KW)	H	7.260	41,25	6,45
Rolo compactador pé de carneiro	H	5.740	32,62	10,89
Rolo liso tandem	H	205	1,17	12,03
Rolo de pneus	H	211	1,20	12,03
Trator de pneus (77 KW)	H	3.039	17,27	6,43
Trator de esteiras - CAT - D6	H	481	2,73	20,21
Mobilização de equipamento (média)		120.479	685	2.049

Além das quantidades de horas de equipamentos, foi possível obter o quantitativo total de equipamentos a ser mobilizados caso a obra fosse executada em um único mês, neste caso, foi gerado o quantitativo de aproximadamente 685 equipamentos. Tal fator foi obtido pela divisão das 120.479 horas por um período médio de trabalho de equipamento de 176 horas em um mês.

O valor médio da mobilização dos equipamentos caso a obra fosse executada em um mês foi determinado pela multiplicação dos quantitativos de equipamentos para um mês de obra, pela distância média de mobilização e desmobilização, que, neste caso específico, foi adotada em 600 Km. Ao final, o valor médio de mobilização por equipamento chega a um total aproximado de R\$ 2.049, conforme o Quadro 21.

O Quadro 22 aborda os custos indiretos e gerenciais mensais.

Quadro 22 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item C't

Item	Descrição	Determinação	Resultado Exemplo
Cl't	Custo indireto do efetivo adicionado aos gastos gerenciais mensais	A determinação deste fator envolveu a determinação do organograma e do efetivo indireto médio mensal da obra, além da determinação dos custos gerenciais médios mensais	R\$ 681.662 de custos indiretos médios mensais, sendo R\$ 552.453 referentes aos salários de equipe e R\$ 129.209 referentes aos custos de manutenção de canteiro

Para o cálculo dos custos indiretos, usou-se o histograma de mão de obra contendo todo o efetivo indireto composto por engenheiros, técnicos, auxiliares, estagiários e aprendizes. Uma vez feito o histograma deste efetivo, é possível calcular os valores médios mensais. Desta forma, chegou-se a um efetivo médio mensal de 88 funcionários com um custo médio de R\$ 552.453 mensais, considerando os encargos sociais devidos, conforme disposto no Quadro 23.

Quadro 23 – Identificação dos custos do efetivo indireto mensal médio

Indireto mensal médio	Qtde	Valor (R\$)
Engenharia	13	206.261
Técnicos e auxiliares	71	341.520
Estagiários e aprendizes	4	4.671
Total administração da obra	88	552.453

A partir do Quadro 24, é possível obter um valor médio para os custos indiretos mensais decorrentes de despesas de canteiro, contas de consumo e verbas mensais para os custos de apoio. Ao final, chega-se a um custo aproximado mensal de R\$ 129.209.

Quadro 24 – Identificação das despesas indiretas médias de canteiro e apoio

Item	Descrição	Valor (R\$)
1	Aluguel de terreno em canteiro	4.102
2	Custos de mobilidade	4.932
3	Controle tecnológico e ensaios de materiais	23.598
4	Viagens de retorno à base e serviço	8.740
5	Contêineres - vestiário, almoxarifado, escritório	1.854
6	Sanitário químico	703
7	Vigilância	29.764
8	Advogados	9.850
9	Custos de alojamentos	4.435
10	Relatórios fotográficos	1.420
11	Consultores	9.800
12	Assinaturas, correios	290
13	Transportes, táxis	493
14	Cópias	298
15	Sindicatos	1.345
16	Consumo mensal - energia elétrica	18.320
17	Consumo mensal - água e esgoto	990
18	Despesas com telefone fixo	1.450
19	Despesas com celular	3.109
20	Despesas internas com coleta de lixo	490

21	Material de escritório	490
22	Materiais de consumos diversos	490
23	Equipamentos de segurança – indiretos	2.246
Total		129.209

O Quadro 25 aborda o cálculo dos custos das rescisões através do Item A.

Quadro 25 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item A

Item	Descrição	Determinação	Resultado
A	Custo Rescisões	A determinação dos custos das rescisões trabalhistas envolveu a aplicação e análise de parâmetros setoriais e de legislação que contemplam os passivos que ocorrem durante a rescisão dos funcionários. Fatores como aviso prévio, aviso prévio indenizado, férias, 13º proporcional, multas de FGTS, entre outros, devem ser considerados	Índice 1,27, ou seja, para cada funcionário contratado que será demitido no futuro, 1,27 salário adicional deverá ser pago

Para o cálculo dos custos das rescisões trabalhistas, utilizou-se o Quadro 26, no qual diversos fatores foram ponderados conforme a legislação vigente. Dentre os fatores estão FGTS – Fundo de Garantia do Tempo de Serviço, indenizações por demissão e férias e 13º proporcionais às indenizações. Neste caso, chega-se a um fator de 1,27, o que significa que, ao final do projeto, em média, todo funcionário receberá 1,27 salário a mais que a sua média salarial, decorrente de encargos rescisórios.

Ressalta-se que neste parâmetro foram considerados apenas indicadores que refletem encargos que gerariam custos adicionais no caso da variabilidade do prazo do projeto. Fatores como, por exemplo, a multa sobre o FGTS não entra nessa conta, pois, em qualquer circunstância, os valores pagos seriam os mesmos porque a envoltória financeira é a mesma. Já os encargos de aviso prévio, não. Eles dependem do quantitativo do efetivo que foi contratado para o projeto, e cada funcionário, ao final de seu período de trabalho, receberá tal verba indenizatória.

Outro ponto importante para salientar é a questão da temporalidade dos projetos. Como os projetos são temporais, foi considerado que todos os funcionários diretos serão demitidos no seu término, fato que gera todos esses custos indenizatórios abordados.

Para o cálculo completo do Fator A, somaram-se os fatores abordados. Como o salário médio do efetivo foi determinado durante o cálculo do item M't, e é de R\$

1.327, o valor rescisório médio devido a cada funcionário adicional contratado seria de $A \times \text{Salário Médio} = 1,27 \times 1.327 = \text{R\$ } 1.685$ por funcionário.

Quadro 26 – Identificação do fator de rescisão (A)

Item	Fator
Aviso prévio indenizado	1,00
Férias sobre aviso	0,11
FGTS sobre aviso	0,08
13º sobre aviso	0,08
Fator A	1,27

Quadro 27 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item B

Item	Descrição	Determinação	Resultado
B	Redução de Produtividade	Deve ser determinada uma constante fixa que seja inversamente variável ao prazo e que determine a redução da produtividade em decorrência das reduções de prazo do projeto.	Para a utilização deste exemplo prático, o Fator B foi considerado com uma perda máxima de 6,5%, variando inversamente ao prazo.

O Gráfico 13 mostra a evolução do Parâmetro B.

Gráfico 13 – Curva de Perda de produtividade em função do prazo do projeto

Quadro 28 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item D

Item	Descrição	Determinação	Resultado
D	Custo Canteiro de Obras	A determinação dos custos dos canteiros de obras e instalações foi feita conforme cotações de preços para a implantação do uso do histórico existente na empresa e por estimativas existentes em revistas técnicas e especializadas.	R\$ 677 por funcionário, com o aumento do número de funcionários no projeto devido à redução de prazos, as estruturas de canteiro devem aumentar, desta forma, uma média de acréscimo de custo por funcionário deve ser estabelecida.

Quadro 29 – Identificação do item D – custos variáveis de canteiro

Item	V. Fixo (R\$)	V. Variável (R\$/Efetivo)
Canteiro – Obras	46.200	623
Canteiro - Almoxarifado	11.088	44
Canteiro - Ind.	5.600	10
Total		667

Quadro 30 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item E

Item	Descrição	Determinação	Resultado
E	Custos QSMS, treinamentos	A determinação dos custos de treinamentos de QSMS foi feita através da estimativa das horas médias expendidas durante os treinamentos necessários de QSMS da empresa, integrações e atividades complementares. A partir da determinação do tempo médio expendido para tais atividades, multiplicou-se tal valor pelo valor médio horário do funcionário.	R\$ 46 é o custo de treinamentos que cada funcionário tem ao entrar no projeto devido às integrações, aos treinamentos de qualidade, entre outros. Neste caso, foi considerada uma média mensal de treinamento de 4 horas por funcionário.

Quadro 31 – Identificação dos custos médios de treinamento por funcionário

Item	Horas	Valor (R\$)
Treinamentos	4,0	46

Quadro 32 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item F

Item	Descrição	Determinação	Resultado
F	Custos EPI + Exames médicos	A determinação dos custos de ferramentas adicionais e dos EPIs que a empresa fornece aos funcionários também deve ser realizada a partir de cotações de preços e média de gastos estimados. Estes fatores se caracterizam por ter uma quantidade fixa durante o início e o término do projeto (exames admissionais e demissionais) e também por substituição ou acompanhamento (exames periódicos).	R\$ 145 fixos (Exames) + R\$ 241 fixos (EPIs) + R\$ 7,5 por mês por funcionário (Exames) + R\$ 59 por mês por funcionário (EPIs). Os R\$ 145 e R\$ 241 se referem aos custos de exames admissionais e demissionais que cada funcionário deverá fazer, além da soma dos uniformes e EPIs que cada funcionário recebe. Os R\$ 7,5 e R\$ 59 são referentes aos custos de trocas e substituição de uniformes e EPIs, além dos custos médios de exames periódicos.

Quadro 33 – Identificação dos custos fixos e variáveis do Item F

Item	Custo Fixo (R\$)	Custo Variável (R\$/Prazo/Funcionário)
Exames médicos	145	7,5
EPI	241	59

Quadro 34 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item G

Item	Descrição	Determinação	Resultado
G	Economia de Escala – Suprimentos	A determinação desta constante inversamente proporcional ao prazo implica em estimar algum desconto no valor de todos os materiais que serão adquiridos no projeto. A compra de um quantitativo expressivo em um prazo menor gera economia de escala e proporciona maiores descontos nas negociações.	5,2% de economia no valor total dos materiais do projeto em função da economia gerada ao se comprar os materiais em ordens de compras mais expressivas.

O Gráfico 14 mostra a evolução do Parâmetro G.

Gráfico 14 – Curva de perda em função do prazo do projeto

Quadro 35 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item H

Item	Descrição	Determinação	Resultado
H	Aumento de horas extras	Constante fixa inversamente proporcional ao prazo do projeto. Ao se reduzir o prazo de um projeto, além de ser gerados recursos de MO adicionais, há uma tendência de elevação nas horas extras (que são mais caras que as horas normais).	3,5%, valor de aumento nos custos devido ao aumento de horas extras adicionais necessárias para a redução de prazo.

O Gráfico 15 mostra a evolução do Parâmetro H.

Gráfico 15 – Curva de aumento de horas extras em função do prazo

Quadro 36 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item R

Item	Descrição	Determinação	Resultado
R	Índice de Rotatividade de MO	A determinação do índice de rotatividade de MO é obtida através da experiência prévia do orçamentista e das memórias existentes de projetos em obras e regiões similares.	Índice adotado igual a 1,0 para este projeto, por não possuir informações suficientes.

Quadro 37 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item S

Item	Descrição	Determinação	Resultado
S	Percentual de MO não subcontratada	A determinação do percentual de MO não subcontratada envolve a expertise de o orçamentista determinar o tipo de obra e o percentual médio de serviços especializados que normalmente são subcontratados. Algumas obras inclusive possuem instrumentos contratuais que limitam ou exigem um percentual mínimo de subcontratação.	Neste caso, não foi necessário o cálculo do fator, pois todas as composições já discriminaram quais serviços seriam subcontratados, então nas contas anteriores de MO, já estavam separados apenas os funcionários que seriam contratados.

Quadro 38 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item K

Item	Descrição	Determinação	Resultado Exemplo
K	Fator majorador de pico	A determinação do fator majorador de pico envolve a aplicação de um fator de pico que faz com que seja considerada a maior quantidade de funcionários possível durante a obra. Tal fator pode ser calculado utilizando-se da particularidade de as obras seguirem um padrão de avanço muito semelhante à Curva S. O detalhamento de como calcular está descrito no Item 2.2	Índice 1,6, ou seja, no pico, a maior quantidade de funcionários que a obra possuirá será de 1,6 multiplicado pela quantidade média mensal de funcionários (que pode ser determinada por $M't$ dividido pelo prazo da obra). Fator calculado de acordo com a formulação explorada anteriormente, de acordo com os parâmetros do projeto.

Quadro 39 – Identificação do fator de pico K

PICO - DIST. NORMAL	
Fator K - Pico	1,6

No Quadro 40, pode-se observar um resumo dos 16 fatores da equação do prazo ótimo.

Quadro 40 – Tabela de resumo de Indicadores da Equação de Prazo Ótimo

Item	Descrição	Valor
M't	MO para execução da Obra em um mês	3.469 funcionários
Sm	Salário médio dos funcionários, produção	R\$ 1.327/funcionário
Mat'0	Custo total dos Materiais	R\$ 43.618.390
Cl't	Custo indireto médio mensal	R\$ 681.662/mês
A	Custo Rescisões	1,27 Salário = R\$ 1.685/funcionário
B	Perda de Produtividade (aumento efetivo)	6,5% de perda máxima
C	Custo Mobilização Equipamentos	R\$ 2.049/equipamento
D	Custo Canteiro de Obras	R\$ 677/funcionário
E	Custos QSMS, treinamentos	R\$ 46/funcionário
F	Custos EPI + Exames médicos	R\$ 386/funcionário + R\$ 67/mês - funcionário
G	Economia de Escala - Suprimentos	5,2% de desconto máximo
R	Índice de Rotatividade de MO	1,0
S	Percentual de MO não subcontratada	Não adotado
K	Fator majorador de pico	1,6
H	Aumento de Horas Extras	3,5% máximo

4.1.3 DETERMINAÇÃO DO PRAZO ÓTIMO TEÓRICO

A partir da determinação dos dezesseis parâmetros do item anterior, é realizado o cálculo da curva dos custos variáveis e, para a determinação do prazo ótimo, apenas fazendo a substituição dos parâmetros nas Equações (16) e (18).

$$CTA_t = \left(KRS \frac{M'_t}{t} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t} + \frac{Eq'_t}{t} (C) \right. \\ \left. + KRS \frac{M'_t}{t} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t} + CI'_t \times t \right) \quad (16)$$

$$t_{\text{ótimo}} = \sqrt{\frac{KRS M'_t (AS_m + D + E + F) + M'_t S_m (B + H) + Eq'_t (C) - Mat'_0 (G)}{CI'_t}} \quad (18)$$

$$t_{\text{ótimo}} = 5,19 \text{ meses}$$

Abaixo, segue a planilha de cálculo utilizada para validação de todo o modelo e elaboração dos gráficos.

RESUMO ORÇAMENTÁRIO - CUSTOS VARIÁVEIS												
Prazo	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
Custos Diretos	18.330.043,45	9.352.338,51	6.359.770,20	4.863.486,04	3.965.715,55	3.367.201,88	2.939.692,12	2.619.059,81	2.369.679,11	2.170.174,56	2.006.943,56	1.870.917,73
Mão de Obra	16.927.160,67	8.650.897,12	5.892.142,60	4.512.765,35	3.685.138,99	3.133.388,09	2.739.280,30	2.443.699,46	2.213.803,25	2.029.886,28	1.879.408,76	1.754.010,83
Materiais	(2.268.156,28)	(1.134.078,14)	(756.052,09)	(567.039,07)	(453.631,26)	(378.026,05)	(324.022,33)	(283.519,54)	(252.017,36)	(226.815,63)	(206.196,03)	(189.013,02)
Equipamento	1.402.882,78	701.441,39	467.627,59	350.720,69	280.576,56	233.813,80	200.411,83	175.360,35	155.875,86	140.288,28	127.534,80	116.906,90
Custos Indiretos	681.662,92	1.363.325,84	2.044.988,76	2.726.651,68	3.408.314,59	4.089.977,51	4.771.640,43	5.453.303,35	6.134.966,27	6.816.629,19	7.498.292,11	8.179.955,03
Custos Totais	19.011.706,36	10.715.664,35	8.404.758,95	7.590.137,72	7.374.030,14	7.457.179,40	7.711.332,56	8.072.363,16	8.504.645,38	8.986.803,75	9.505.235,67	10.050.872,75
Prazo	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00
Custos Diretos	1.755.818,95	1.657.162,85	1.571.660,90	1.496.846,69	1.430.834,15	1.372.156,34	1.319.655,14	1.272.404,07	1.229.653,09	1.190.788,57	1.155.303,57	1.122.775,65
Mão de Obra	1.647.904,89	1.556.956,94	1.478.135,38	1.409.166,52	1.348.311,64	1.294.218,41	1.245.819,21	1.202.259,93	1.162.849,15	1.127.021,17	1.094.308,66	1.064.322,20
Materiais	(174.473,56)	(162.011,16)	(151.210,42)	(141.759,77)	(133.420,96)	(126.008,68)	(119.376,65)	(113.407,81)	(108.007,44)	(103.098,01)	(98.615,49)	(94.506,51)
Equipamento	107.914,06	100.205,91	93.525,52	87.680,17	82.522,52	77.937,93	73.835,94	70.144,14	66.803,94	63.767,40	60.994,90	58.453,45
Custos Indiretos	8.861.617,94	9.543.280,86	10.224.943,78	10.906.606,70	11.588.269,62	12.269.932,54	12.951.595,46	13.633.258,38	14.314.921,29	14.996.584,21	15.678.247,13	16.359.910,05
Custos Totais	10.617.436,89	11.200.443,71	11.796.604,68	12.403.453,39	13.019.103,77	13.642.088,88	14.271.250,60	14.905.662,44	15.544.574,38	16.187.372,78	16.833.550,70	17.482.685,70
Prazo	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00	31,00	32,00	33,00	34,00	35,00	36,00
Custos Diretos	1.092.849,97	1.065.226,26	1.039.648,75	1.015.898,21	993.785,64	973.147,23	953.840,34	935.740,13	918.736,90	902.733,86	887.645,28	873.394,96
Mão de Obra	1.036.734,66	1.011.269,23	987.690,13	965.795,25	945.410,37	926.384,47	908.586,06	891.900,04	876.225,30	861.472,60	847.562,92	834.425,99
Materiais	(90.726,25)	(87.236,78)	(84.005,79)	(81.005,58)	(78.212,29)	(75.605,21)	(73.166,33)	(70.879,88)	(68.732,01)	(66.710,48)	(64.804,47)	(63.004,34)
Equipamento	56.115,31	53.957,03	51.958,62	50.102,96	48.375,27	46.762,76	45.254,28	43.840,09	42.511,60	41.261,26	40.082,37	38.968,97
Custos Indiretos	17.041.572,97	17.723.235,89	18.404.898,81	19.086.561,73	19.768.224,65	20.449.887,56	21.131.550,48	21.813.213,40	22.494.876,32	23.176.539,24	23.858.202,16	24.539.865,08
Custos Totais	18.134.422,94	18.788.462,15	19.444.547,56	20.102.459,94	20.762.010,28	21.423.034,80	22.085.390,82	22.748.953,53	23.413.613,22	24.079.273,10	24.745.847,44	25.413.260,03
Prazo	37,00	38,00	39,00	40,00	41,00	42,00	43,00	44,00	45,00	46,00	47,00	48,00
Custos Diretos	859.914,92	847.144,36	835.028,70	823.518,82	812.570,40	802.143,33	792.201,24	782.711,07	773.642,68	764.968,57	756.663,57	748.704,61
Mão de Obra	821.999,17	810.226,39	799.057,34	788.446,75	778.353,74	768.741,36	759.576,06	750.827,37	742.467,51	734.471,12	726.815,00	719.477,89
Materiais	(61.301,52)	(59.688,32)	(58.157,85)	(56.703,91)	(55.320,88)	(54.003,72)	(52.747,82)	(51.549,01)	(50.403,47)	(49.307,75)	(48.258,64)	(47.253,26)
Equipamento	37.915,75	36.917,97	35.971,35	35.072,07	34.216,65	33.401,97	32.625,18	31.883,70	31.175,17	30.497,45	29.848,57	29.226,72
Custos Indiretos	25.221.528,00	25.903.190,91	26.584.853,83	27.266.516,75	27.948.179,67	28.629.842,59	29.311.505,51	29.993.168,43	30.674.831,35	31.356.494,26	32.038.157,18	32.719.820,10
Custos Totais	26.081.442,92	26.750.335,27	27.419.882,53	28.090.035,57	28.760.750,07	29.431.985,92	30.103.706,75	30.775.879,50	31.448.474,03	32.121.462,83	32.794.820,75	33.468.524,71

Figura 16 – Planilha de Cálculo dos custos variáveis

4.1.4 ESTUDO DA CURVA DE CUSTOS VARIÁVEIS

O Gráfico 16 representa a curva dos custos variáveis para o projeto estudado em função de diferentes cenários para o tempo de execução. Nesta curva, é possível observar o comportamento inversamente proporcional ao prazo dos custos diretos, o comportamento diretamente proporcional ao prazo dos custos indiretos, o comportamento parabólico da curva final resultante da adição dos custos diretos e indiretos e o ponto onde o prazo é ótimo para o projeto.

Analisando a curva juntamente com toda a explanação de suas características, conforme abordado no Item 3.1.1 e em seus subitens, fica perceptível, pela elevada inclinação da curva vermelha dos custos resultante, que este projeto tem alto potencial de redução de custos caso haja alteração nos prazos do projeto. Ao final, para este tipo de projeto, a resposta final de análise do item é que a análise deve ser continuada nos Itens 6º e 7º, pois o projeto gera potenciais ganhos com a sua redução de prazo.

Gráfico 16 – Curva de prazo ótimo – Ponte 1,6 Km

4.1.5 VERIFICAÇÃO SE O PRAZO ESTIMADO INICIALMENTE É MAIOR OU MENOR QUE O PRAZO ÓTIMO DETERMINADO

Conforme abordado anteriormente, no caso da identificação de alto potencial de economia com as reduções de prazo, cabe ao orçamentista identificar se o prazo inicialmente concebido para o projeto é maior ou menor que o prazo ótimo calculado pela Equação (18) e tomar as decisões, conforme abordado no Item 3.1.4.

Em uma análise detalhada deste item, considera-se que o prazo ótimo obtido foi de 5 meses e que o prazo de edital do projeto é de 36 meses, conforme o Gráfico 17. Desta maneira, é muito válido o reestudo dos cronogramas do projeto a fim de

encontrar o menor prazo possível até o limite do prazo ótimo em ordem de encontrar o menor custo total, conforme o próximo item.

4.1.6 RECÁLCULO E DETERMINAÇÃO DO CRONOGRAMA A PONTO-LIMITE DE ACORDO COM A DEFINIÇÃO ADOTADA NA ETAPA ANTERIOR

Neste caso em específico, fazendo os estudos de maior redução de prazo possível, considerando maiores equipes de trabalho, e não considerando nenhuma modificação tecnológica dos serviços, apenas o aproveitamento dos seus limites máximos, o cronograma se reduziu para 26 meses, conforme o Gráfico 17. Este prazo de 26 meses é limitado devido ao sequenciamento das atividades do caminho crítico (estacas, blocos, pilares, travessas) que são limitadas, por exemplo, pelo tempo de cura do concreto. No Apêndice B, há um cronograma mostrando este sequenciamento das atividades críticas.

Desta maneira, também fica possível a identificação das zonas de projeto, conforme o Gráfico 17. Neste caso, a parte que está marcada na região azul é a área onde é possível ocorrer a redução do prazo e a consecutiva redução dos custos totais. Já a parte marcada na região rosa é a parte em que, para que houvesse a redução do prazo, seria necessária a mudança tecnológica dos sistemas empregados no projeto.

O conhecimento das zonas do projeto é extremamente importante, uma vez que os orçamentistas, detendo estas informações, além do conhecimento da região e dos valores de economia de custo na mudança do prazo, possuem disponível a informação para analisar os custos de economia de prazo *versus* uma possível troca de tecnologia construtiva, que normalmente acresceria os custos.

Gráfico 17 – Curva de prazo ótimo – Ponte 1,6 Km (zonas de projeto)

4.1.7 CÁLCULO FINAL DO POTENCIAL DE ECONOMIA UTILIZANDO PARÂMETROS DO CRONOGRAMA RECALCULADO

Uma vez estabelecido o novo prazo que mais se aproxima do prazo ótimo pré-concebido, que neste caso é de 26 meses, pode ser feito o cálculo final do potencial de economia a ser gerada pela redução de prazos. Tal valor foi determinado pelo uso da Equação (19).

$$\Delta CA_{t_{\text{ótimo}}} = \left(KRS \frac{M'_t}{t} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t} + \frac{Eq'_t}{t} (C) \right) + KRS \frac{M'_t}{t} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t} + CI'_t \times t - \left(KRS \frac{M'_t}{t_{\text{ótimo}}} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t_{\text{ótimo}}} + \frac{Eq'_t}{t_{\text{ótimo}}} (C) \right) + KRS \frac{M'_t}{t_{\text{ótimo}}} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t_{\text{ótimo}}} + CI'_t \times t_{\text{ótimo}} \quad (26)$$

Neste caso, ao comparar os custos variáveis com o tempo, percebe-se que o projeto durando 36 meses, os custos variáveis totalizavam aproximadamente R\$ 25 MM. Com a redução de prazo de 10 meses, o projeto ficaria com 26 meses e teria um custo variável de aproximadamente R\$ 18 MM, gerando uma economia aproximada de R\$ 6 MM, que representa um desconto no preço-base do edital, que é de R\$ 150 MM, de 4,4%, conforme o Quadro 41.

Quadro 41 – Cálculo da economia gerada pelo método

Economia Gerada	4,4%
Custos variáveis - 36 meses	R\$ 25.413.260,03
Custos variáveis - 26 meses	R\$ 18.788.462,15
Ganhos	R\$ 6.624.797,89

A partir dos cálculos efetuados acima, ficam perceptíveis as vantagens do uso do método para alguns tipos de projeto. Neste caso em específico, uma ordem de economia de 4,4% sobre o preço-base de um edital de obra é um valor que pode fazer com que a empresa ganhe um elevado nível competitivo nas concorrências.

Caso a obra conseguisse reduzir o seu prazo ao prazo ótimo de cinco meses, a economia gerada poderia chegar até o valor de R\$ 18 MM, potencializando uma economia de até 12% sobre o preço-base do edital.

Quadro 42 – Cálculo da economia máxima gerada pelo método

Economia Gerada Máxima	12,0%
Custos variáveis - 36 meses	R\$ 25.413.260,03
Custos variáveis - 5 meses	R\$ 7.374.030,14
Ganhos	R\$ 18.039.229,89

A seguir, o cronograma macro do projeto, mostrando três situações distintas, prazo adotado, prazo ótimo e prazo do edital.

Figura 17 - Cronograma Prazo Previsto x Adotado = Prazo Ótimo

Conforme abordado no início do trabalho, o método pode ser utilizado para um cálculo aproximado do nível de redução de custos possível e serve como uma ferramenta para direcionar os orçamentistas no estudo aprofundado do projeto em relação ao prazo a ser adotado. Muitas vezes, questões secundárias, como os critérios de desembolso do cliente ou a impossibilidade de redução tão grande de prazo prevista em edital, podem fazer com que o novo prazo a ser adotado seja obrigatoriamente diferente.

Independentemente das questões acima levantadas, após todo este estudo, é fundamental que seja feito novamente o orçamento detalhado para o cálculo do valor real do projeto.

Além dos cálculos efetuados acima das economias de custos entre o prazo de edital de 36 meses e o prazo mínimo de 26 meses, faz-se o cálculo entre o prazo mínimo – o caminho crítico e o prazo ótimo de 5 meses. A economia gerada entre estes prazos seria de R\$ 11 MM. Este valor é extremamente importante para as empresas que buscam inovação, pois é um valor que elas podem considerar como contrapartida para o investimento em inovações tecnológicas que poderiam reduzir o prazo do projeto. Qualquer inovação que custasse menos de R\$ 11 MM e reduzisse o prazo do caminho crítico ao prazo ótimo do projeto seria um investimento que valeria a pena.

Quadro 43 – Cálculo da zona de potencial de inovação

Zona de Inovação	
Custos variáveis - 26 meses	R\$ 18.788.462
Custos variáveis - 5 meses	R\$ 7.374.030
Ganhos	R\$ 11.414.432

4.2 ESTUDO DE CASO 2 – CONDOMÍNIO DE 45 CASAS

Conforme já descrito anteriormente, este é um estudo de caso ao qual o autor tem menos familiaridade profissional, desta forma deve ser considerado como um exemplo secundário quando comparado ao primeiro estudo de caso.

Para a aplicação da metodologia, utiliza-se todas as sete etapas desenvolvidas no Item 3.1.4, conforme abaixo.

4.2.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO

Inicialmente determinam-se as características básicas do projeto:

- O escopo do projeto é a execução dos serviços necessários para a construção de condomínio fechado composto por 45 casas com área construída média de 141,11 m². A tipologia-padrão é de casas de três quartos, sendo duas suítes e um quarto adicional, havendo também sala social, sala de televisão e cozinha-padrão

- **Regime de Contratação:** Projeto Privado de Empresa de Construção
- **Modo de disputa:** Não há
- **Preço-base orçado:** R\$ 11,43 MM (2020)
- **Prazo de Contrato Original:** 41 meses
- **Valores do orçamento:** ano 2020
- **Principais atividades:**
 - Execução e Montagem de Lajes pré-moldadas;
 - Execução de Alvenaria;
 - Execução de Emboço;
 - Instalações Elétricas;
 - Estrutura de aço para telha;
 - Assentamento de Porcelanato com argamassa pré-fabricada.
- **Área para canteiro de obra e industrial:** aproximadamente 273 m².

Plantas e referências do projeto e maior detalhamento dos sistemas construtivos:

Inicialmente segue planta que simula condomínio de casas a ser construído.

Figura 18 – Planta do condomínio de casas (exemplo).

Fonte: <https://www.bcimobiliaria.com.br/imovel/782100/casa-em-condominio-venda-nossa-senhora-do-socorro-se-centro>

Infraestrutura e fundações

- **Estacas:** as estacas das casas serão executadas por sistema manual em trado. Os diâmetros são de 0,25 m.
- **Estrutura:** Vigas baldrame, blocos e pilares em concreto armado, executados em sistema tradicional. As lajes são pré-fabricadas e preenchidas com lajotas de cerâmica.
- **Acabamentos:** Os acabamentos serão executados em piso porcelanato, em reboco e pintura acrílica nas paredes.

4.2.2 PARÂMETROS DE REFERÊNCIA DAS VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO

Para o cálculo das variáveis das equações dos custos e prazos, foram determinados os 16 parâmetros fundamentais para a concepção da curva de variabilidade dos custos e do prazo ótimo teórico, conforme as Equações (16) e (18) e o Quadro 13. Do Quadro 44 ao Quadro 68, cada uma das partes do Quadro 13 é particionada juntamente com as memórias e justificativas de cada um dos itens da equação.

Quadro 44 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item M't

Item	Descrição	Determinação	Resultado
M't	Quantitativo total de mão de obra orçada para a execução do projeto em um mês	A determinação foi feita pela multiplicação de todos os quantitativos de serviços da obra levantados multiplicados por suas respectivas composições para mão de obra	1.961 funcionários, sendo 392 pedreiros, 184 carpinteiros, 1.033 serventes, entre outros

Com o uso dos dados do Quadro 45 apresentado, foi possível efetuar o cálculo do Item M't que equivale ao quantitativo total de mão de obra direta para executar o projeto em apenas um mês. O valor total de homem-hora trabalhada, apresentada na primeira coluna da tabela e que totaliza 345.099 horas no projeto, foi obtido através do uso de *softwares* de cálculo, em que todos os quantitativos de serviços, conforme o

Quadro 46, foram multiplicados por suas respectivas composições de serviços. A quantidade do efetivo em um mês foi obtida pela divisão das 345.099 horas por 176 horas, que é o período médio efetivamente trabalhado pelos funcionários por mês, gerando, assim, uma necessidade de aproximadamente 1.961 funcionários caso o projeto fosse executado em um único mês.

Quadro 45 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item M't

	176,00 HH	Ponderações		
Função	HH Trab.	Qtde Mês	Salário (R\$)	
Ajudante	181.841	1.033	1.705	1.761.685
Armador	4.938	28	2.074	58.203
Carpinteiro	32.248	183	2.074	380.059
Eletricista/encanador	33.667	191	2.563	490.339
Montador	198	1	2.335	2.629
Pedreiro	68.900	393	2.074	812.022
Pintor	23.305	132	2.074	274.660
TOTAL	345.099	1.961		3.779.600
Salário Médio				1.927

Quadro 46 – Quantitativo de resumo de serviços

Item	Descrição	Und	Qtde
1	Laje pré-fabricada comum para forro, intereixo 38 cm, espessura da laje 12 cm, capeamento 4 cm, elemento de enchimento 8 cm	m²	7.027
2	Alvenaria de vedação com blocos cerâmicos furados, 14 x 14 x 24 cm, espessura da parede 14 cm, juntas de 10 mm com argamassa industrializada	m²	13.633
3	Emboço para parede externa com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:2:6, e=30 mm	m²	13.823
4	Elétrica - Fiação - Item único	vb	1
5	Emboço para parede interna com argamassa de cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:4,5, com betoneira, e=30 mm	m²	17.791
6	EC01 - Estrutura de aço para telha ondulada de fibrocimento, alumínio ou plástica, ancorada em laje ou parede	und	43
7	Porcelanato assentado com argamassa pré-fabricada de cimento colante (dimensão: 60 x 60 cm)	m²	3.524
8	Esgoto	vb	1
9	Porcelanato assentado com argamassa pré-fabricada de cimento colante (dimensão: 60 x 60 cm)	m²	3.275
10	Pintura com tinta látex PVA em parede interna, com duas demãos, sem massa corrida	m²	15.481
11	CX01 - Janela de alumínio sob encomenda, colocação e acabamento, de correr, com contramarcos (160 x 120 cm)	und	131
12	Forma para vigas, com chapa compensada plastificada, e=12mm, 5 reaproveitamentos	m²	6.064
13	Forma de madeira para fundação, com tábuas e sarrafos, 3 aproveitamentos	m²	3.736
14	Emboço em teto com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia sem peneirar traço 1:2:9, e=20 mm	m²	6.439

15	Eletroduto de PVC flexível corrugado (elétrica/telefônica/antena)	ml	2.925
16	Emassamento de parede interna com massa corrida à base de PVA com duas demãos, para pintura látex	m²	20.299
17	Cobertura com telha de fibrocimento uma água, perfil ondulado, e = 6 mm, altura 125 mm, largura útil 1.020 mm e largura nominal 1.064 mm, inclinação 27%	m²	5.529
18	Lastro de concreto não estrutural, espessura 6 cm	m³	5.771
19	Quadros e disjuntores	und	52
20	Concreto estrutural dosado em central, autoadensável, fck 20 MPa	m²	589

Além dos quantitativos de horas estimadas, também foi computado o valor de remuneração média ponderada para esses trabalhadores. Tal parâmetro também será utilizado mais à frente para o cálculo das rescisões e de outros fatores. O valor final computado foi de R\$ 1.927 de remuneração média de base, o qual pode ser observado no Quadro 45.

Quadro 47 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item Sm

Item	Descrição	Determinação	Resultado
Sm	Salário Médio Mensal dos Funcionários de Produção	A determinação deste valor deve ser feita pela média ponderada dos salários da produção e seus respectivos quantitativos	R\$ 1.927. Valor de salários médios dos funcionários de produção da obra ponderados pelas quantidades, conforme abordado acima.

Para o cálculo do Fator Mat'0, deve-se somar todos os custos de materiais que compõem a obra. O Quadro 48 contém o resumo dos principais custos.

Quadro 48 – Quadro de resumo com principais materiais da Obra

Item	Descrição	Unidade	Quantidade
1	Concreto dosado em central autoadensável (resistência: 20 MPa)	m³	1.601
2	Porcelanato ROCA - Titan Cinza 60x60	m²	6.379
3	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	Kg	563.757
4	Bloco cerâmico de vedação (altura: 140 mm/comprimento: 240 mm/largura: 140 mm)	m²	465.266
5	Porcelanato ROCA - Ferrand BL (60 x 60 cm) RET	m²	4.480
6	CX01 - Caixilho de alumínio de correr com duas folhas venezianas e uma de vidro temperado 8 mm com acabamento branco	Und	131
7	Telha de fibrocimento estrutural tipo etermax e maxiplac (espessura: 6 mm/largura nominal: 1064 mm/largura útil: 1020	m²	6.137

	mm/vão livre: 3,96 m)		
8	Barra de aço CA-50 3/8" (bitola: 10,00 mm/massa linear: 0,617 kg/m)	Kg	41.199
9	PB02 - Porta balcão de alumínio, de correr, três folhas, com vidro temperado 8 mm 2,90 x 2,15 m.	Und	43
10	Material Z-275 para cobertura metálica	Und	45
11	Areia lavada tipo média	m³	2.689
12	Argamassa pré-fabricada para assentamento de alvenaria	Kg	299.546
13	Cabo flexível PVC baixa tensão unipolar encordoamento classe 5 (seção transversal: 2,5 mm²/temperatura máxima do condutor: 70°/tensão 450/750 V)	MI	81.875
15	Barra de aço CA-50 5/16" (massa linear: 0,395 kg/m/bitola: 8,00 mm)	Kg	27.603
16	Tela de aço CA-60 soldada tipo Q 92 tipo malha quadrangular (diâmetro do fio: 4,20 mm/dimensões da trama 150x150 mm.)	Kg	12.194
17	Cal hidratada CH III	Kg	238.754
18	PB01 - Porta balcão de alumínio, de correr, três folhas, com vidro temperado 8 mm 1,55 x 2,15 m	Und	43
19	Argamassa de cimento colante pré-fabricada para assentamento de peças cerâmicas tipo porcelanato	Kg	77.874

Quadro 49 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item Mat'0

Item	Descrição	Determinação	Resultado
Mat'0	Custo total dos materiais para a elaboração da obra	A determinação deste fator envolve a multiplicação de todos os quantitativos de serviços da obra levantados multiplicados por suas respectivas composições para materiais	R\$ 5.368.417 de custos de aquisição de materiais, sendo compostos por todos os materiais necessários à execução da obra: cimento, aço e agregados.

Quadro 50 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Itens Eq't e C

Item	Descrição	Determinação	Resultado
Eq't	Quantitativo total de equipamentos orçados para a execução do projeto em um mês	A determinação deste fator foi feita pela multiplicação de todos os quantitativos de serviços da obra levantados multiplicados por suas respectivas composições para equipamentos	15 equipamentos, sendo 2 caminhões basculantes, 8 compactadores vibratórios, 1 pá carregadeira, 2 escavadeiras, entre outros
C	Custo Mobilização Equipamentos	A determinação dos custos de mobilização dos equipamentos foi feita pela determinação das distâncias de onde os equipamentos vão sair até a obra e a cotação ou estimativa	Para este projeto de construção de casas, o quantitativo de equipamentos necessários para total execução do projeto é

		dos preços para que tal transporte seja efetuado. A partir da determinação destes fatores para cada um dos equipamentos, os custos foram calculados.	praticamente irrelevante (praticamente 10 equipamentos devem ser mobilizados), desta maneira, este parâmetro foi desconsiderado
--	--	--	---

Quadro 51 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item C't

Item	Descrição	Determinação	Resultado Exemplo
Cl't	Custo indireto do efetivo mais gastos gerenciais mensais	A determinação deste fator envolveu a determinação do organograma e do efetivo indireto médio mensal da obra, além da determinação dos custos gerenciais médios mensais	R\$ 77.115 de custos indiretos médios mensais, sendo R\$ 55.872 referentes aos salários de equipe e R\$ 21.243 referentes aos custos de manutenção de canteiro

Para o cálculo dos custos indiretos, usou-se o histograma de mão de obra contendo todo o efetivo indireto composto por engenheiros, técnicos, auxiliares, estagiários e aprendizes. Uma vez feito o histograma deste efetivo, é possível calcular os valores médios mensais. Desta forma, chegou-se a um efetivo médio mensal de 8 funcionários com um custo médio de R\$ 55.872 mensais, considerando os encargos sociais devidos, conforme disposto no Quadro 52.

Quadro 52 – Identificação dos custos do efetivo indireto mensal médio

Indireto mensal médio	Qtde	Valor (R\$)
Engenharia e Área Técnica	5	43.790
Técnicos, Auxiliares e Estagiários	3	12.082
Total administração da obra	8	55.872

No Quadro 53, é possível obter um valor médio para os custos indiretos mensais decorrentes de despesas de canteiro, contas de consumo e verbas mensais para os custos de apoio. Ao final, chega-se a um custo aproximado mensal de R\$ 21.243.

Quadro 53 – Identificação das despesas indiretas médias de canteiro e apoio

Item	Descrição	Valor (R\$)
1	Controle tecnológico e ensaios de materiais	1.328
2	Contêineres – vestiário, almoxarifado, escritório	1.754
3	Vigilância	2.350
4	Advogados	5.324
5	Relatórios fotográficos	359
6	Consultores	3.298

7	Assinaturas, correios	124
8	Transportes, táxis	73
9	Cópias	289
10	Sindicatos	1.065
11	Consumo mensal – energia elétrica	2.748
12	Consumo mensal – água e esgoto	429
13	Despesas com telefone fixo	198
14	Despesas com celular	315
15	Despesas internas com coleta de lixo	439
16	Material de escritório	122
17	Materiais de consumos diversos	153
18	Equipamentos de segurança – indiretos	873
Total		21.243

Quadro 54 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item A

Item	Descrição	Determinação	Resultado
A	Custo Rescisões	A determinação dos custos das rescisões trabalhistas envolveu a aplicação e análise de parâmetros setoriais e de legislação que contemplam os passivos que ocorrem durante a rescisão dos funcionários. Fatores como aviso prévio, aviso prévio indenizado, férias, 13º proporcional, multas de FGTS, entre outros, devem ser considerados	Índice 1,27, ou seja, para cada funcionário contratado que será demitido no futuro, 1,27 salário adicional deverá ser pago

Para o cálculo dos custos das rescisões trabalhistas, utilizou-se o Quadro 54, no qual diversos fatores foram ponderados conforme a legislação vigente. Dentre os fatores estão FGTS – Fundo de Garantia do Tempo de Serviço, indenizações por demissão e férias e 13º proporcionais às indenizações. Neste caso, chega-se a um fator de 1,27, o que significa que, ao final do projeto, em média, todo funcionário receberá 1,27 salário a mais que a sua média salarial, decorrente de encargos rescisórios.

Ressalta-se que, neste parâmetro, foram considerados apenas os indicadores que refletem encargos que gerariam custos adicionais no caso da variabilidade do prazo do projeto. Fatores como, por exemplo, a multa sobre o FGTS não entra nesta conta, pois, em qualquer circunstância, os valores pagos seriam os mesmos porque a envoltória financeira é a mesma. Já os encargos de aviso prévio, não. Eles dependem do quantitativo do efetivo que foi contratado para o projeto, e cada funcionário, ao final de seu período de trabalho, receberá tal verba indenizatória.

Outro ponto importante para salientar é a questão da temporalidade dos projetos. Como os projetos são temporais, foi considerado que todos os funcionários diretos serão demitidos em seu término, fato que gera todos estes custos indenizatórios abordados.

Para o cálculo completo do Fator A, somam-se os fatores abordados. Como o salário médio do efetivo foi determinado durante o cálculo do Item M't, e é de R\$ 1.927, o valor rescisório médio devido a cada funcionário adicional contratado seria de $A \times \text{Salário Médio} = 1,27 \times 1.927 = \text{R\$ } 2.456$ por funcionário.

Quadro 55 – Identificação do fator de rescisão (A)

Item	Fator
Aviso prévio indenizado	1
Férias sobre aviso	0,11
FGTS sobre aviso	0,08
13º sobre aviso	0,08
Fator A	1,27

Quadro 56 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item B

Item	Descrição	Determinação	Resultado
B	Redução de Produtividade	Deve ser determinada uma constante fixa que seja inversamente variável ao prazo e que determine a redução da produtividade em decorrência das reduções de prazo do projeto.	Para a utilização deste exemplo prático, o Fator B foi desprezado.

Quadro 57 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item D

Item	Descrição	Determinação	Resultado
D	Custo Canteiro de Obras	A determinação dos custos dos canteiros de obras e instalações foi realizada conforme cotações de preços para esta implantação do uso do histórico existente na empresa e por estimativas existentes em revistas técnicas e especializadas.	R\$ 375 por funcionário, com o aumento do número de funcionários no projeto devido à redução de prazos, as estruturas de canteiro devem aumentar, desta forma, uma média de acréscimo de custo por funcionário deve ser estabelecida.

Quadro 58 – Identificação do Item D – custos variáveis de canteiro

Item	V. Fixo (R\$)	V. Variável (R\$/Efetivo)
Canteiro - Obras	25.706	347
Canteiro - Almojarifado	6.169	24
Canteiro - Ind.	2.408	4,35
Total		375

Quadro 59 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item E

Item	Descrição	Determinação	Resultado
E	Custos QSMS, treinamentos	A determinação dos custos de treinamentos de QSMS foi feita através da estimativa das horas médias expendidas durante os treinamentos necessários de QSMS da empresa, integrações e atividades complementares. A partir da determinação do tempo médio expendido para tais atividades, multiplicou-se tal valor pelo valor médio horário do funcionário.	R\$ 59 é o custo de treinamentos que cada funcionário tem ao entrar no projeto devido às integrações, aos treinamentos de qualidade, entre outros.

Quadro 60 – Identificação dos custos médios de treinamento por funcionário

Item	Horas	Valor (R\$)
Treinamentos	4,0	59

Quadro 61 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item F

Item	Descrição	Determinação	Resultado
F	Custos EPI + Exames médicos	A determinação dos custos de ferramentas adicionais e dos EPIs que a empresa fornece aos funcionários também deve ser realizada a partir de cotações de preços e média de gastos estimados. Estes fatores se caracterizam por ter uma quantidade fixa durante o início e o término do projeto (exames admissionais e demissionais) e também por substituição ou acompanhamento (exames periódicos).	R\$ 99 fixos (Exames) + R\$ 176 fixos (EPIs) + R\$ 5,15 por mês por funcionário (Exames) + R\$ 43 por mês por funcionário (EPIs). Os R\$ 99 e R\$ 176 se referem aos custos de exames admissionais e demissionais que cada funcionário deverá fazer, além da soma dos uniformes e EPIs que cada funcionário recebe. Os R\$ 5,15 e R\$ 43 são referentes aos custos de trocas e substituição de

			uniformes e EPIs, além dos custos médios de exames periódicos.
--	--	--	--

Quadro 62 – Identificação dos custos fixos e variáveis do Item F

Item	Custo fixo (R\$)	Custo Variável (R\$/Prazo/Funcionário)
Exames médicos	99	5,15
EPI	176	43

Quadro 63 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item G

G	Economia de Escala – Suprimentos	A determinação desta constante inversamente proporcional ao prazo implica em estimar algum desconto no valor de todos os materiais que serão adquiridos no projeto. A compra de um quantitativo expressivo em um prazo menor gera economia de escala e proporciona maiores descontos nas negociações.	4% de economia no valor total dos materiais do projeto em função da economia gerada ao se comprar os materiais em ordens de compras mais expressivas.
---	----------------------------------	---	---

O Gráfico 18 mostra a evolução do Parâmetro G.

Gráfico 18 – Gráfico índice G – Condomínio de casas

Quadro 64 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item H

Item	Descrição	Determinação	Resultado
H	Aumento de horas extras	Constante fixa inversamente proporcional ao prazo do projeto. Ao se reduzir o prazo de um projeto, além de ser gerados recursos de MO adicionais, há uma tendência de elevação nas horas extras (que são mais caras que as horas normais).	Para este caso específico, o aumento de horas extras foi desconsiderado.

Quadro 65 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item R

Item	Descrição	Determinação	Resultado
R	Índice de Rotatividade de MO	A determinação do índice de rotatividade de MO é obtida através da experiência prévia do orçamentista e das memórias existentes de projetos em obras e regiões similares.	Índice adotado igual a 1,0 para este projeto, por não possuir informações suficientes.

Quadro 66 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item S

Item	Descrição	Determinação	Resultado
S	Percentual de MO não subcontratada	A determinação do percentual de MO não subcontratada envolve a expertise de o orçamentista determinar o tipo de obra e o percentual médio de serviços especializados que normalmente são subcontratados. Algumas obras inclusive possuem instrumentos contratuais que limitam ou exigem um percentual mínimo de subcontratação.	Neste caso, não foi necessário o cálculo do fator, pois todas as composições já discriminaram quais serviços seriam subcontratados, então, nas contas anteriores de MO, já estavam separados apenas os funcionários que seriam contratados.

Quadro 67 – Identificação dos Indicadores da Equação de Prazo Ótimo – Item K

Item	Descrição	Determinação	Resultado Exemplo
K	Fator majorador de pico	A determinação do fator majorador de pico envolve a aplicação de um fator de pico que faz com que seja considerada a maior quantidade de funcionários possível durante a obra. Tal fator pode ser calculado utilizando-se da particularidade de as obras seguirem um padrão de avanço muito semelhante à Curva S. O	Índice 1,45, ou seja, no pico, a maior quantidade de funcionários que a obra possuirá será de 1,45 multiplicado pela quantidade média mensal de funcionários (que pode ser determinada por $M \cdot t$ dividido pelo prazo da obra). Fator calculado de acordo com a formulação

		detalhamento de como calcular está descrito no Item 2.2	explorada anteriormente, de acordo com os parâmetros do projeto.
--	--	---	--

Quadro 68 – Identificação do fator de pico K

PICO - DIST. NORMAL	
Fator K – Pico	1,45

No Quadro 69, pode-se observar um resumo dos 16 fatores da equação de prazo ótimo.

Quadro 69 – Tabela de resumo de Indicadores da Equação de Prazo Ótimo

Item	Descrição	Valor
M't	MO para execução da Obra em um mês	1.961 funcionários
Sm	Salário médio dos funcionários, produção	R\$ 1.927/funcionário
Mat'0	Custo total dos Materiais	R\$ 5.368.417
Cl't	Custo indireto médio mensal	R\$ 77.115/mês
A	Custo Rescisões	1,27 salário = R\$ 2.456/funcionário
B	Perda de Produtividade (aumento efetivo)	Desprezado
C	Custo Mobilização Equipamentos	Desprezado
D	Custo Canteiro de Obras	R\$ 375/funcionário
E	Custos QSMS, treinamentos	R\$ 59/funcionário
F	Custos EPI + Exames médicos	R\$ 276/funcionário + R\$ 49/mês/funcionário
G	Economia de Escala - Suprimentos	4% de desconto máximo
R	Índice de Rotatividade de MO	1,0
S	Percentual de MO não subcontratada	Não adotado
K	Fator majorador de pico	1,45
H	Aumento de Horas Extras	Não adotado

4.2.3 DETERMINAÇÃO DO PRAZO ÓTIMO TEÓRICO

A partir da determinação dos dezesseis parâmetros do item anterior, é realizado o cálculo da curva dos custos variáveis e, para a determinação do prazo ótimo, apenas fazendo a substituição dos parâmetros nas Equações (16) e (18).

$$CTA_t = \left(KRS \frac{M'_t}{t} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t} + \frac{Eq'_t}{t} (C) \right. \\ \left. + KRS \frac{M'_t}{t} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t} + CI'_t \times t \right) \quad (16)$$

$$t_{\text{ótimo}} = \sqrt{\frac{KRS M'_t (AS_m + D + E + F) + M'_t S_m (B + H) + Eq'_t (C) - Mat'_0 (G)}{CI'_t}} \quad (18)$$

$$t_{\text{ótimo}} = 12,79 \text{ meses}$$

Abaixo, segue a planilha de cálculo utilizada para validação de todo o modelo e elaboração dos gráficos.

RESUMO ORÇAMENTÁRIO - CUSTOS VARIÁVEIS												
Prazo	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
Custos Diretos	8.877.679,41	4.508.583,11	3.052.217,68	2.324.034,97	1.887.125,34	1.595.852,25	1.387.800,05	1.231.760,89	1.110.397,11	1.013.306,08	933.867,96	867.669,53
Mão de Obra	9.146.100,27	4.642.793,55	3.141.691,30	2.391.140,18	1.940.809,51	1.640.589,06	1.426.145,88	1.265.313,50	1.140.221,65	1.040.148,16	958.269,86	890.037,94
Equipamentos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materiais	(268.420,86)	(134.210,43)	(89.473,62)	(67.105,22)	(53.684,17)	(44.736,81)	(38.345,84)	(33.552,61)	(29.824,54)	(26.842,09)	(24.401,90)	(22.368,41)
Custos Indiretos	55.872,49	111.744,98	167.617,47	223.489,96	279.362,45	335.234,94	391.107,43	446.979,92	502.852,41	558.724,90	614.597,39	670.469,88
Custos Totais	8.933.551,90	4.620.328,09	3.219.835,15	2.547.524,93	2.166.487,79	1.931.087,19	1.778.907,48	1.678.740,81	1.613.249,52	1.572.030,98	1.548.465,35	1.538.139,41
Prazo	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00
Custos Diretos	811.655,48	763.643,43	722.032,99	685.623,86	653.498,15	624.941,96	599.391,69	576.396,45	555.591,23	536.677,39	519.408,24	503.578,18
Mão de Obra	832.303,24	782.816,35	739.927,72	702.400,16	669.287,61	639.854,23	613.519,11	589.817,49	568.373,17	548.878,34	531.078,71	514.762,38
Equipamentos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materiais	(20.647,76)	(19.172,92)	(17.894,72)	(16.776,30)	(15.789,46)	(14.912,27)	(14.127,41)	(13.421,04)	(12.781,95)	(12.200,95)	(11.670,47)	(11.184,20)
Custos Indiretos	726.342,37	782.214,86	838.087,35	893.959,84	949.832,33	1.005.704,82	1.061.577,31	1.117.449,80	1.173.322,29	1.229.194,78	1.285.067,27	1.340.939,76
Custos Totais	1.537.997,85	1.545.858,29	1.560.120,34	1.579.583,70	1.603.330,48	1.630.646,78	1.660.969,00	1.693.846,25	1.728.913,52	1.765.872,17	1.804.475,51	1.844.517,94
Prazo	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00	31,00	32,00	33,00	34,00	35,00	36,00
Custos Diretos	489.014,52	475.571,15	463.123,58	451.565,13	440.803,80	430.759,90	421.364,00	412.555,34	404.280,53	396.492,48	389.149,46	382.214,39
Mão de Obra	499.751,36	485.895,03	473.065,09	461.151,58	450.059,70	439.707,27	430.022,74	420.943,49	412.414,50	404.387,21	396.818,63	389.670,53
Equipamentos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materiais	(10.736,83)	(10.323,88)	(9.941,51)	(9.586,46)	(9.255,89)	(8.947,36)	(8.658,74)	(8.388,15)	(8.133,97)	(7.894,73)	(7.669,17)	(7.456,14)
Custos Indiretos	1.396.812,25	1.452.684,74	1.508.557,23	1.564.429,72	1.620.302,21	1.676.174,70	1.732.047,19	1.787.919,68	1.843.792,17	1.899.664,66	1.955.537,15	2.011.409,64
Custos Totais	1.885.826,77	1.928.255,89	1.971.680,81	2.015.994,85	2.061.106,01	2.106.934,60	2.153.411,19	2.200.475,02	2.248.072,70	2.296.157,14	2.344.686,61	2.393.624,03
Prazo	37,00	38,00	39,00	40,00	41,00	42,00	43,00	44,00	45,00	46,00	47,00	48,00
Custos Diretos	375.654,19	369.439,26	363.543,04	357.941,63	352.613,47	347.539,02	342.700,60	338.082,10	333.668,88	329.447,53	325.405,81	321.532,50
Mão de Obra	382.908,80	376.502,96	370.425,63	364.652,15	359.160,32	353.930,00	348.942,95	344.182,58	339.633,78	335.282,76	331.116,89	327.124,60
Equipamentos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Materiais	(7.254,62)	(7.063,71)	(6.882,59)	(6.710,52)	(6.546,85)	(6.390,97)	(6.242,35)	(6.100,47)	(5.964,91)	(5.835,24)	(5.711,08)	(5.592,10)
Custos Indiretos	2.067.282,13	2.123.154,62	2.179.027,11	2.234.899,60	2.290.772,09	2.346.644,58	2.402.517,07	2.458.389,56	2.514.262,05	2.570.134,54	2.626.007,03	2.681.879,52
Custos Totais	2.442.936,32	2.492.593,88	2.542.570,15	2.592.841,23	2.643.385,56	2.694.183,60	2.745.217,67	2.796.471,66	2.847.930,93	2.899.582,07	2.951.412,84	3.003.412,02

Figura 19 – Planilha de Cálculo dos Custos Variáveis

4.2.4 ESTUDO DA CURVA DE CUSTOS VARIÁVEIS

O Gráfico 19 representa a curva dos custos variáveis para o projeto estudado. Nesta curva, é possível observar o comportamento inversamente proporcional ao prazo dos custos diretos, o comportamento diretamente proporcional ao prazo dos custos indiretos e o comportamento parabólico da curva final resultante da adição dos custos diretos e indiretos, além do ponto onde o prazo é ótimo para o projeto.

Analisando a curva juntamente com toda a explanação de suas características, conforme abordado no Item 3.1.1 e em seus subitens, fica perceptível, pela média-alta inclinação da curva dos custos resultante, que este projeto tem algum potencial de redução de custos caso haja alteração nos prazos. Ao final, para este tipo de

projeto, a resposta final de análise do item é que ela deve ser continuada nos Itens 6º e 7º, pois o projeto gera potenciais ganhos com a sua redução de prazo.

Gráfico 19 – Curva de prazo ótimo – Condomínio de casas

4.2.5 VERIFICAÇÃO SE O PRAZO ESTIMADO INICIALMENTE É MAIOR OU MENOR QUE O PRAZO ÓTIMO DETERMINADO

Conforme abordado anteriormente, no caso da identificação de um bom potencial de economia com as reduções de prazo, cabe ao orçamentista identificar se o prazo inicialmente concebido para o projeto é maior ou menor que o prazo ótimo calculado pela Equação (18) e tomar as decisões, conforme abordado no Item 3.1.4.

Em uma análise detalhada deste item, considerando que o prazo ótimo obtido foi de 13 meses e que o prazo inicialmente concebido para o projeto era de 41 meses, conforme o Gráfico 20. Desta maneira, é muito válido o reestudo dos cronogramas do projeto a fim de encontrar o menor prazo possível até o limite do prazo ótimo em ordem de encontrar o menor custo total, conforme o próximo item.

4.2.6 RECÁLCULO E DETERMINAÇÃO DO CRONOGRAMA A PONTO-LIMITE DE ACORDO COM A DEFINIÇÃO ADOTADA NA ETAPA ANTERIOR

Neste caso em específico, fazendo os estudos de maior redução de prazo possível, considerando maiores equipes de trabalho, e não considerando nenhuma modificação tecnológica dos serviços, apenas o aproveitamento dos seus limites máximos, o cronograma se reduziu para 13 meses, coincidindo, assim, com o prazo ótimo do projeto. Neste caso, tal redução foi possível pela característica horizontal

do projeto, em que múltiplas tarefas podem ser executadas simultaneamente sem restrição de predecessoras.

A partir do Gráfico 20, é possível observar a região azul, região onde pode ocorrer a redução do prazo e a consecutiva redução dos custos totais, sem a necessidade de alteração da tecnologia construtiva.

O conhecimento das zonas do projeto é extremamente importante, uma vez que os orçamentistas, detendo estas informações, além do conhecimento da região e dos valores de economia de custo na mudança do prazo, possuem disponível a informação para analisar os custos de economia de prazo *versus* uma possível troca de tecnologia construtiva, que normalmente acresceria os custos. Neste caso em específico, como é possível a redução do prazo do projeto ao prazo ótimo, os cálculos da inovação e as trocas de tecnologias não se fazem necessários.

Gráfico 20 – Curva de prazo ótimo – Condomínio de casas (zonas de projeto)

4.2.7 CÁLCULO FINAL DO POTENCIAL DE ECONOMIA UTILIZANDO PARÂMETROS DO CRONOGRAMA RECALCULADO

Uma vez estabelecido o novo prazo de 13 meses, pode ser feito o cálculo final do potencial de economia a ser gerada pela redução de prazos. Tal valor foi determinado pelo uso da Equação (19).

$$\begin{aligned}
\Delta CA_{t_{\acute{o}timo}} = & \left(KRS \frac{M'_t}{t} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t} + \frac{Eq'_t}{t} (C) \right. \\
& + KRS \frac{M'_t}{t} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t} + CI'_t \times t \left. \right) \\
& - \left(KRS \frac{M'_t}{t_{\acute{o}timo}} S_m(A) + M'_t S_m \frac{(B+H)}{t_{\acute{o}timo}} + \frac{Eq'_t}{t_{\acute{o}timo}} (C) \right. \\
& + KRS \frac{M'_t}{t_{\acute{o}timo}} (D+E+F) - Mat'_0 \frac{(G)}{t_{\acute{o}timo}} + CI'_t \times t_{\acute{o}timo} \left. \right)
\end{aligned} \tag{19}$$

Neste caso, ao comparar os custos variáveis, percebe-se que o projeto durando 41 meses, os custos variáveis totalizaram aproximadamente R\$ 2,6 MM. Com a redução de prazo de 28 meses, o projeto ficaria com 13 meses e teria um custo variável de aproximadamente R\$ 1,5 MM, gerando uma economia aproximada de R\$ 1,1 MM, que representa um desconto no preço-base do negócio, que é de R\$ 11,6 MM, de 9,7%, conforme o Quadro 70.

Quadro 70 – Cálculo da economia gerada pelo método

Economia Gerada	9,7%
Custos variáveis - 41 meses	R\$ 2.643.385,56
Custos variáveis - 13 meses	R\$ 1.537.997,85
Ganhos	R\$ 1.105.387,71

A partir dos cálculos efetuados acima, ficam perceptíveis as vantagens do uso do método para alguns tipos de projeto. Neste caso em específico, uma ordem de economia de 9,7% sobre o preço-base das estimativas iniciais do projeto. Este é um valor que pode fazer com que a empresa ganhe um elevado nível competitivo nas concorrências ou nos negócios.

Conforme abordado no início do trabalho, este método deve ser utilizado para um cálculo aproximado do nível de redução de custos possível e serve como uma ferramenta para direcionar os orçamentistas no estudo aprofundado do projeto em relação ao prazo a ser adotado. Muitas vezes, questões secundárias, como os critérios de desembolso do cliente ou a impossibilidade de redução tão grande de prazo prevista em edital, podem fazer com que o novo prazo a ser adotado seja obrigatoriamente diferente. Este caso representa bem a última sentença descrita, pois, por se tratar de um empreendimento financiado por meios privados, ele depende dos aportes da empresa ou do plano de venda, entretanto, com as informações disponibilizadas em mãos, a empresa pode calcular o que é mais vantajoso para ela.

Todo este estudo sob o ponto de vista do investidor e proprietário pode ser abordado no item 3.1.3 deste trabalho. Os desembolsos financeiros, porém, não serão detalhados neste exemplo por não estarem no enfoque do trabalho.

Ao final, optou-se por adotar a solução mais econômica de equalizar o prazo do projeto ao prazo ótimo calculado. Abaixo, segue o cronograma macro do empreendimento contendo o prazo inicialmente estabelecido e o adotado.

Ressalta-se, entretanto, que o prazo ótimo de 13 meses estimado como viável, foi balizado na experiência menos substancial do autor, sendo passível de questionamento.

Figura 20 - Cronograma Prazo Previsto x Adotado = Prazo Ótimo

Independentemente das questões acima levantadas, após todo este estudo, é fundamental que seja feito novamente o orçamento detalhado para o cálculo do valor real do projeto.

5 CONCLUSÃO E FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

5.1 CONCLUSÃO

A realidade dos orçamentos e do planejamento de obras no Brasil é muito complexa. Há grandes erros em estimativas de custos e prazos. Atrasos, prejuízos e aditivos são recorrentes e colaboram com problemas institucionais. Há falta de confiabilidade nas margens de lucro contratuais e nas projeções de investimento, dificultando o relacionamento com investidores e a captação de recursos. Há gastos excessivos com mão de obra, materiais, equipamentos e custos indiretos. Além de tudo, há um atraso em comparação com outras indústrias que, de maneira geral, conseguem abordar tais problemas com maior confiabilidade e de maneira mais científica e técnica.

A mudança desta realidade demanda processos inovativos. Muitos processos têm sido desenvolvidos e aplicados; a adoção do *Lean Construction* e do BIM – *Building Information Modeling* são dois exemplos fortes. Este trabalho também é um exemplo de processo de inovação e pretende ajudar a mitigar as problemáticas abordadas acima.

Após toda a revisão bibliográfica das metodologias existentes e de toda a explicação, desenvolvimento e aplicação do método, constata-se que ele permite que a empresa ou os orçamentistas tenham um ponto de partida para a determinação dos prazos em seus projetos na questão da análise de *trade-off* entre tempo e custos. Além disso, o método também possibilita uma análise e um estudo mais detalhados sobre o comportamento do prazo e dos custos nos projetos, a partir da geração da curva de relacionamento entre eles, dado pelas equações do método.

A aplicação do método se mostrou extremamente simples (após a obtenção dos fatores da equação) e conseguiu gerar resultados interessantes no que tange a redução de custos para dois tipos distintos de obra, ressalta-se novamente que o segundo caso (empreendimento imobiliário) tem papel menos relevante neste trabalho vendo a menor experiência do autor nesta área. Vale observar um resultado interessante obtido para ambos os casos, a redução máxima de custos decorrente da redução do prazo original para o prazo de tempo ótimo gerou em torno de 10% de economia.

É importante também salientar as fragilidades do método, primeiro, para o seu uso eficaz, é necessário que a empresa ou os orçamentistas tenham minimamente recursos tecnológicos de orçamentos, como *softwares* de orçamento e programas de gerenciamento de dados, o trabalho para a obtenção de todos os dados é bastante grande. Outro ponto importante é o fato de o método não calcular valores exatos, devido ao fato de ser balizado em premissas e em médias de diversos parâmetros, resultando, assim, não numa ferramenta de cálculo acurada para o orçamento final, mas, sim, num mecanismo de identificação do relacionamento entre prazos e custos juntamente com a sua potencialidade de geração de economias ou de perdas financeiras.

No aspecto das fragilidades, também pode-se citar o da determinação dos 16 fatores que compõem a equação para determinação do prazo ótimo, sua grande maioria

teve pouco rigor científico e se balizaram em impressões e percepções geradas da vivência prática e profissional do autor, estando sujeitos à equívocos. Outro aspecto que vale a pena ser citado, é o da composição da equipe indireta da obra na abordagem matemática da equação, a qual foi considerada sempre como constante independentemente do prazo da obra, mas ao se reduzir de maneira significativa o prazo do projeto, esta poderia ser modificada também.

Apesar de todos os fatores abordados acima, diferentemente dos outros métodos encontrados nas revisões bibliográficas, que eram muito complexos ou apenas explicavam a conceituação do problema, o método atinge os objetivos inicialmente propostos de maneira sólida, pois está estruturado em fundamentação matemática.

Por fim, conclui-se que o método é uma inovação, é uma ferramenta de simples uso e possui enorme potencial de desenvolvimento e aplicabilidade para o setor da Construção Civil. Destacam-se aqui as duas vertentes com maior potencial:

A possibilidade de as empresas mensurarem financeiramente a zona de inovação tecnológica e o potencial financeiro que o investimento em novas tecnologias teria nos casos em que o prazo ótimo não pode ser atingido, devido ao caminho crítico do projeto, conseguindo, assim, mensurar o custo de oportunidade para tais investimentos. Muitas vezes, as empresas não investem em inovações por acharem os custos altos, mas, como pôde ser exemplificado pelo método, muitas vezes, mesmo investindo em tecnologias mais caras, a empresa ainda poderia ter melhores resultados gerados pela redução dos prazos.

A outra vertente seria uma adoção do uso deste método pelo setor público em seus estudos dos editais de projetos a serem licitados. As reduções de prazos poderiam gerar grandes economias não só para as empresas contratadas para a execução dos serviços, mas também para os próprios órgãos públicos, fato que beneficiaria a população como um todo.

5.2 FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

O método desenvolvido para este trabalho caracteriza-se pela facilidade de, entretanto faz uso de muitas aproximações nos cálculos de valores de mão de obra, equipamentos, entre outros. Mesmo assim, possibilita, com uma boa acurácia, o que se propõe, que é determinar as variabilidades dos custos em função dos prazos estabelecidos no projeto.

Hoje, com a imensa disponibilidade de *softwares* no mercado, dentre eles se inclui o mais recorrente uso de tecnologias balizadas no BIM – *Building Information Modeling* para projetos, a aplicação dos equacionamentos do método via *softwares* aumentaria a precisão com a redução das aproximações e faria o modelo muito mais robusto. Este é um dos futuros desenvolvimentos deste trabalho que, definitivamente, pode ser colocado em prática.

O fato de o método proposto ter algumas limitações decorrentes do emprego da percepção profissional do autor gera uma oportunidade, pode ser desenvolvido um trabalho para o aperfeiçoamento da obtenção dos 16 fatores que compõem a equação do prazo ótimo com maior rigor científico, culminando no reforço da credibilidade do uso do método. O trabalho seria desenvolvido no sentido da

obtenção destes fatores realizando checagens e pesquisas científicas de como cada um dos fatores realmente variam com o prazo.

Outro futuro desenvolvimento do trabalho relaciona-se à realização de múltiplas iterações dos 16 fatores da equação do prazo ótimo visando buscar superfícies ou regiões de iterações que possibilitariam uma melhor análise de como o prazo dos projetos responde a cada um dos fatores apontados na equação.

REFERÊNCIAS

AGYEI, W. Project Planning and Scheduling Using PERT and CPM Techniques With Linear Programming: Case Study. **International Journal of Scientific & Technology Research**, v. 4, n. 08, p. 222–227, 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Banco de Dados – CBIC**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>>. Acesso em: 9 jul. 2018.

CAIRE, Elaine. **A história da origem da curva normal**. 2013. 109 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2013.

CHASSIAKOS, Athanasios P; ASCE, A M; SAKELLAROPOULOS, Serafim P. **Time-Cost Optimization of Construction Projects with Generalized Activity Constraints**. v. 131, n. October, p. 1115–1124, 2005.

CONTADOR, José Celso. **Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

FEDERAL RESERVE BANK OF ST. LOUIS. **Value Added by Private Industries: Construction as a Percentage of GDP**. Disponível em: <<https://fred.stlouisfed.org/series/VAPGDPC>>. Acesso em: 9 jul. 2018.

FENG, C.-W.; LIU, L.; BURNS, S. A. Using Genetic Algorithms to Solve Construction Time-Cost Trade-Off Problems. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 11, n. 3, p. 184–189, 1997.

FENG, C.-W.; LIU, L.; BURNS, S. A. Stochastic Construction Time-Cost Trade-Off Analysis. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 14, n. 2, p. 117–126, 2000.

FULKERSON, D. R. A network flow computation for project cost curve. **Management Science**, v. 7, n. 2, 1961.

GADELHA, Luiz Gonzaga da Costa. **Orçamento na construção pesada – orçamento e programação de barragem de terra**. Recife: Editora do Autor, 2011.

GADELHA, Luiz Gonzaga da Costa. **Orçamento e programação de pontes em balanços sucessivos**. Recife: Editora do Autor, 2009.

HARI, S. Comparative Study of Time-Cost Optimization. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 8, n. 4, p. 659–663, 2017.

HEGAZY, Tarek. Optimization of construction time – cost trade-off. 1999.

HIRSCHFELD, Henrique. **Planejamento com PERT-CPM e análise do desempenho: método manual e por computadores eletrônicos aplicados a todos os fins, construção civil, marketing etc**. São Paulo: Editora Atlas, 1978.

KLANŠEK, U.; PŠUNDER, M. Cost Optimization of Time Schedules for Project Management. **Economic Research-Ekonomska Istraživanja**, v. 23, n. 4, p. 22–36, 2010.

KELLY, É. V. (2009). **Crash with confidence**. Paper presented at PMI® Global Congress 2009 – North America, Orlando, FL. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos**. São Paulo: Editora Pini, 2006.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e Controle de Obras**. São Paulo: Editora Pini, 2010.

MEREDITH, J.R., MANTEL, S.J., SHAFER, S. M. **Project Management: A Managerial Approach**. Ninth edit ed. New York: [s.n.].

Paliari, José Carlos. **Metodologia para coleta e análise de informações sobre consumo e perdas de materiais e componentes nos canteiros de obras de edifícios** / J.C. Paliari, U.E.L. de Souza. São Paulo: EPUSP, 1999.

PHILIPPS JR., DESSOUKY, M. I. **Solving the project management time/cost trade-off problem using minimal cost concept**. Management Science, v. 24, n. 4, 1977.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE - PMI. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)**. 4ª Edição ed. Pennsylvania: [s.n.].

THE WORLD BANK. **GDP (current US\$) | Data**. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?end=2017&start=2000>>. Acesso em: 9 jul. 2018.

TCPO - **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos** – 13ª Edição – São Paulo – Editora PINI Ltda., 2008.

TISAKA, Maçahiko. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. São Paulo: Editora Pini, 2006.

TRIVEDI, M. K.; NAMDEV, S. Use of optimization techniques in time-cost trade off (TCT) in civil construction : An Overview. **International Journal of Civil Engineering and Mechanics**, v. 2, n. 1, p. 1–13, 2015.

TUFEKCI, S. A flow preserving algorithm for the time/cost trade-off problem, **IEE Transactions**, 1982.

YIN, Robert K. **Estudos de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2005.

APÊNDICE A

Abaixo, seguem algumas das composições de serviços utilizadas para a obra da Ponte de 1,6 km.

Quadro 71 – Composição de serviço – Aço CA-50

Planilha de composição de custo unitário				
Projeto PONTE 1,6 Km				12/2017
COMPOSIÇÃO (CÓDIGO + DESCRIÇÃO)				UNID.
Fornecimento, preparo e colocação formas aço CA-50				KG
RECURSOS DA COMPOSIÇÃO (CÓDIGO + DESCRIÇÃO)	UNID.	COEF.	VALOR UNITÁRIO	VALOR PARCIAL
Aço CA-50 - bitola média - Cortado e dobrado	KG	0,824000	2,78	2,29
Arame recozido	KG	0,020000	6,10	0,12
Montagem e instalação de armação	KG	1,000000	1,38	1,38
Aço CA-50 - bitola média	KG	0,206000	2,40	0,49
Grupo: E - MATERIAIS				4,29
CUSTO DIRETO:				4,29
BDI (0%)				0,00
TOTAL (CUSTO DIRETO + BDI)				4,29

Quadro 72 – Composição de serviço – Lançamento de pré-lajes

Planilha de composição de custo unitário				
Projeto PONTE 1,6 Km				12/2017
COMPOSIÇÃO (CÓDIGO + DESCRIÇÃO)				UNID.
Transporte, lançamento e posicionamento de pré-lajes 165 kg				UN
RECURSOS DA COMPOSIÇÃO (CÓDIGO + DESCRIÇÃO)	UNID.	COEF.	VALOR UNITÁRIO	VALOR PARCIAL
Ferramentas	%	3,000000	0,05	0,15
Caminhão guindauto 40T	H	0,132700	111,21	14,76
Grupo: A - EQUIPAMENTO				14,91
Custo agregado à mão de obra	H	0,716067	5,10	3,65

Encargos Sociais - Produção Folha				
D - Contribuições Mensais	%	125,000000	0,05	6,38
Pedreiro	H	0,233500	7,03	1,64
Encarregado Civil	H	0,015567	25,09	0,39
Ajudante (apoio ao oficial)	H	0,467000	6,57	3,07
Grupo: B - MÃO DE OBRA				15,13
CUSTO DIRETO:				30,04
BDI (0%)				0,00
TOTAL (CUSTO DIRETO + BDI)				30,04

Quadro 73 – Composição de serviço – Forma metálica

Planilha de composição de custo unitário				
Projeto PONTE 1,6 Km				12/2017
COMPOSIÇÃO (CÓDIGO + DESCRIÇÃO)				UNID.
Forma de placa compensada resinada (forma metálica)				M2
RECURSOS DA COMPOSIÇÃO (CÓDIGO + DESCRIÇÃO)	UNID.	COEF.	VALOR UNITÁRIO	VALOR PARCIAL
Ferramentas	%	3,000000	0,06	0,18
Grupo: A - EQUIPAMENTO				0,18
Custo agregado à mão de obra	H	0,783335	5,10	4,00
Encargos Sociais - Produção Folha D				
- Contribuições Mensais	%	125,000000	0,06	7,49
Encarregado Civil	H	0,033335	25,09	0,84
Carpinteiro	H	0,500000	7,03	3,52
Ajudante (apoio ao oficial)	H	0,250000	6,57	1,64
Grupo: B - MÃO DE OBRA				17,48
Desmoldante de formas para concreto	KG	0,050000	13,31	0,67
Espaçadores plásticos para concreto	UN	2,000000	0,16	0,32
Chapa compensada plastificada, e = 15 mm	M2	0,011100	26,32	0,29
Forma metálica para vigas pré-moldadas	M2	1,000000	3,35	3,35
Grupo: E - MATERIAIS				4,63
CUSTO DIRETO:				22,29
BDI (0%)				0,00
TOTAL (CUSTO DIRETO + BDI)				22,29

Quadro 74 – Composição de serviço – Concreto 40 Mpa

Planilha de composição de custo unitário				
Projeto PONTE 1,6 Km				12/2017
COMPOSIÇÃO (CÓDIGO + DESCRIÇÃO)			UNID.	
Concreto estrutural usinado FCK=40 MPA, com bombeamento			M3	
RECURSOS DA COMPOSIÇÃO (CÓDIGO + DESCRIÇÃO)	UNID.	COEF.	VALOR UNITÁRIO	VALOR PARCIAL
Ferramentas	%	3,000000	0,26	0,79
Grupo: A - EQUIPAMENTO				0,79
Custo agregado à mão de obra	H	3,600005	5,10	18,36
Encargos Sociais - Produção Folha D				
- Contribuições Mensais	%	125,000000	0,26	32,74
Servente	H	2,000000	6,57	13,14
Pedreiro	H	1,500000	7,03	10,55
Encarregado Civil	H	0,100005	25,09	2,51
Grupo: B - MÃO DE OBRA				77,30
Cimento portland CP 32 - IV	KG	2,500000	0,38	0,95
Taxa de bombeamento	M3	1,030000	25,00	25,75
Usinagem de concreto em central com transporte em caminhão betoneira, DMT=3,00 km	M3	1,030000	14,40	14,83
Material para Concreto 40 Mpa - Bombeável	M3	1,030000	246,58	253,98
Grupo: E - MATERIAIS				295,51
CUSTO DIRETO:				373,59
BDI (0%)				0,00
TOTAL (CUSTO DIRETO + BDI)				373,59

APÊNDICE B

Abaixo, segue o cronograma mostrando o caminho crítico e a rede de etapas da Ponte de 1,6 km.

Figura 21 - Cronograma Ponte 1,6 Km

Figura 22 - Cronograma Ponte 1,6 Km

Figura 23 - Cronograma Ponte 1,6 Km

Figura 24 - Cronograma Ponte 1,6 Km

Figura 25 - Cronograma Ponte 1,6 Km

Figura 28 - Cronograma Ponte 1,6 Km

Figura 29 - Cronograma Ponte 1,6 Km

Figura 30 - Cronograma Ponte 1,6 Km

Figura 31 - Cronograma Ponte 1,6 Km

Figura 32 - Cronograma Ponte 1,6 Km