

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

PATRICK MELO DE MENDONÇA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ASSERTIVIDADE DOS MÉTODOS CPM E
SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA CRONOGRAMAS DE PROJETOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2020

PATRICK MELO DE MENDONÇA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ASSERTIVIDADE DOS MÉTODOS CPM E
SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA CRONOGRAMAS DE PROJETOS DA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de TCC II, do curso de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Cleovir José Milani

Coorientador: Prof. Dr. José Donizetti de Lima

PATO BRANCO

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

ANÁLISE COMPARATIVA DE ASSERTIVIDADE DOS MÉTODOS CPM E SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA CRONOGRAMAS DE PROJETOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Por

PATRICK MELO DE MENDONÇA

Monografia apresentada às 14:00 horas, do dia 12 de agosto de 2020, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Civil (TCCII) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca.

Banca examinadora: a Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Prof. PATRICIA LUIZA MOSCON FREISLEBEN	Membro
Prof. NORMELIO VITOR FRACARO	Membro
Prof. CLEOVIR JOSÉ MILANI	Orientador
Prof. JOSÉ DONIZETTI DE LIMA	Coorientador
Prof. ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI	Professor(a) responsável TCCII

Documento assinado eletronicamente por **CLEOVIR JOSE MILANI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 17/08/2020, às 14:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **PATRICIA LUIZA MOSCON FREISLEBEN, PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR-SUBSTITUTO**, em 17/08/2020, às 16:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **NORMELIO VITOR FRACARO, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 21/08/2020, às 12:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **ELIZANGELA MARCELO SILIPRANDI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 27/08/2020, às 06:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1573164** e o código CRC **1E272232**.

Referência: Processo nº 23064.024746/2020-11

SEI nº 1573164

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem ele não haveria começo, meio e fim. A minha família que durante todos esses anos concedeu amor e o apoio necessário para o meu crescimento, especialmente a minha mãe, Patricia, e ao meu avô Norberto, que foram extraordinários e moldaram meu caráter e determinação para buscar meus objetivos.

Todos os desafios encontrados nesta jornada se tornaram mais divertidos pelo fato de se ter amigos com quem compartilhar, sejam preocupações ou vitórias, a presença e companheirismo deles foram fundamentais. Aos meus amigos que carregou desde da infância, Renato, Daniel, Rian, Fábio, Ermeson, Amanda e Iasmim e também pelos muitos laços construídos durante a faculdade, Bruno, Eduardo, Marcel, Renato, Gabriel, Fabrício e todos os demais presentes durante esta caminhada.

Agradecimentos a instituição UTFPR por fornecer as condições de desenvolvimento técnico e profissional, e ao corpo docente de Engenharia Civil de Pato Branco pela dedicação e pelo diferencial de se importarem também com o lado humano dos alunos. As experiências na graduação marcaram um importante período de amadurecimento em minha vida.

Por fim, um agradecimento especial ao meu orientador Dr. Cleovir Milani, ao meu coorientador Dr. José Donizetti, e a todos os engenheiros e construtoras que participaram na coleta de dados deste trabalho, a empresa Palisade que prestou um excelente suporte técnico e licença estudantil para o uso de seu software, o que viabilizou os procedimentos de estudo.

“Passo a passo. Não consigo pensar em nenhum outro modo de se realizar algo”
(Michael Jordan)

RESUMO

MENDONÇA, Patrick M. **Análise Comparativa de Assertividade dos Métodos CPM e Simulação de Monte Carlo para Cronogramas de Projetos da Construção Civil**, 2020. 77 pg. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento Acadêmico de Construção Civil – UTFPR, Pato Branco, 2020.

Dada a alta competitividade presente no mercado da construção civil, torna-se cada vez mais necessária a elaboração de cronogramas de obras assertivos, isto é, que sejam desenvolvidos planejamentos de prazos mais próximos da realidade, reduzindo a ocorrência de atrasos. Para isso, o presente trabalho discute as limitações dos métodos tradicionais de gerenciamento de cronogramas, representados pelo Método do Caminho Crítico e PERT. Através de um estudo de caso de um cronograma real referente a um edifício residencial, aplicou-se a Simulação de Monte Carlo para a avaliação de riscos e geração de possíveis cenários de desenvolvimento de projeto. Verificou-se uma probabilidade de apenas 25,70% de que a obra fosse concluída dentro do prazo. De fato, quando analisada a data de término efetiva, o empreendimento apresentou um desvio de prazo global de 4,06%, correspondendo a um mês de atraso. Adicionalmente, foram elencadas as atividades com maior impacto no intervalo da duração total de projeto, sendo proposto um cenário alternativo de cronograma que garantisse uma maior segurança de prazos. A utilização da simulação em cronogramas da construção civil se mostrou objetiva, complementando um método determinístico (CPM) por meio da análise estocástica. Por fim, foi realizado um levantamento junto as construtoras de Pato Branco, PR quanto as práticas do uso de cronogramas de obra em suas rotinas de trabalho. Os resultados evidenciaram que a maioria dos engenheiros utilizam cronogramas pré-definidos ou se apoiam apenas na experiência, não estão familiarizados com o uso de simulações, sendo esta prática ainda pouco difundida na construção civil.

Palavras-chave: Gerenciamento de Projetos. Cronograma de Projeto. Simulação de Monte Carlo. Método Caminho Crítico. Construção civil. Desvio de Prazo.

ABSTRACT

MENDONÇA, Patrick M. **Assertiveness Comparison Analysis of CPM and Monte Carlo Simulation Methods for Project Scheduling in Civil Construction**, 2020.77 pgs. Civil Engineering Undergraduate Thesis (Bachelor Degree) – Academic Department of Building Construction, Federal Technological University of Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2020.

Given the high competitiveness present in the civil construction market, it is becoming even more necessary to elaborate precise project schedules, which means developing deadline plans closer to reality and reducing the occurrence of delays. In this regard, this study discusses the limitations of traditional schedule management methods, represented by the Critical Path Method and PERT. Through a case study of a real schedule referring to a residential building, the Monte Carlo Simulation was applied for risk assessment and generation of possible project scenarios. There was only a 25.70% probability that the work would be completed within the planning date. When the effective conclusion date was analyzed, the project presented a 4.06% overall time deviation, corresponding to one month delay. Besides, the tasks with the greatest impact in the range of the project total duration were listed, as well as an alternative schedule scenario was proposed to ensure greater security of deadlines. The use of simulation in civil construction schedules proved to be objective, complementing a deterministic method (CPM) through stochastic analysis. Finally, a survey was carried out with the builders from Pato Branco, PR regarding the practices of using planning schedules in their work routines. The results revealed that most engineers use predefined schedules or rely only on experience, they are not familiar with the use of simulations, and this practice is still not widespread in civil construction.

Keywords: Project management. Project Scheduling. Monte Carlo Simulation. Critical Path Method. Civil Construction. Deadline deviation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Áreas do conhecimento de gerenciamento e projetos	22
Figura 2: Composição unitária de alvenaria de concreto	26
Figura 3: Diagrama de rede pelo método das flechas.....	27
Figura 4: Diagrama de rede pelo método dos blocos	27
Figura 5: Diagrama de Gantt	28
Figura 6: Diagrama de rede pelo método dos blocos	30
Figura 7: Diagrama de rede probabilístico	31
Figura 8: Distribuição de curva normal típica	33
Figura 9: Distribuição de probabilidade de uma data-alvo.....	35
Figura 10: Exemplo de distribuição triangular acumulada.....	38
Figura 11: Diagrama de atividades desenvolvidas na pesquisa.....	41
Figura 12: Cronograma executivo parcial do edifício A	51
Figura 13: Parâmetros da distribuição triangular @Risk	53
Figura 14: Aplicação de modelagem estocástica @Risk.....	54
Figura 15: Configuração da simulação @Risk.....	54
Figura 16: Histograma da distribuição de duração de projeto.....	55
Figura 17: Histograma da distribuição da data de conclusão do projeto.....	55
Figura 18: Curva de probabilidade acumulada da duração de projeto	56
Figura 19: Curva de probabilidade acumulada da data de conclusão de projeto	56
Figura 20: Duração total estimada referente a 95% de probabilidade de êxito.....	57
Figura 21: Data de conclusão estimada referente a 95% de probabilidade de êxito	57
Figura 22: Impacto da variação da duração das atividades em relação a data de conclusão média	58
Figura 23: Gráfico de dispersão da duração atividade em relação a data de conclusão.....	59
Figura 24: Gráfico de dispersão em cenário hipotético da duração pela data de conclusão ...	60
Figura 25: Histograma da distribuição da duração total da obra com cronograma adaptado .	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Banco de dados utilizados em estimativas de prazos	45
Tabela 2: Percepção da utilização de cronogramas em relação ao porte de obras	48
Tabela 3: Cálculo de desvio de prazo global da obra	52
Tabela 4: Comparação entre cenários utilizando a Simulação de Monte Carlo	61
Tabela 5: Comparativo entre resultados obtidos por outros pesquisadores quanto a probabilidade de conclusão do projeto na data planejada	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparativo entre métodos de gerenciamento de cronogramas	36
Quadro 2: Percepção das vantagens e desvantagens do uso de cronogramas de obras.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Frequência de utilização de cronogramas de obras	44
Gráfico 2: Métodos mais utilizados em gerenciamento de cronogramas	46
Gráfico 3: Ferramentas mais utilizadas em gerenciamento de cronogramas	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	JUSTIFICATIVA	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	GERENCIAMENTO DE PROJETOS	20
2.1.1	Áreas de conhecimento em gerenciamento de projetos.....	21
2.2	GERENCIAMENTO DE CRONOGRAMAS.....	22
2.2.1	Definição e sequenciamento das atividades.....	23
2.2.2	Duração das atividades	24
2.2.2.1	Banco de dados de referência.....	25
2.2.3	Diagrama de rede	27
2.2.4	Diagrama de Gantt	28
2.3	MÉTODOS DE GERENCIAMENTO DE PRAZOS.....	29
2.3.1	CPM – Critical Path Method	29
2.3.2	PERT – Program Evaluation and Review Technique.....	31
2.3.3	SMC - Simulação de Monte Carlo.....	33
2.3.3.1	Distribuição triangular.....	37
2.4	ÍNDICE DE DESVIO DE PRAZO	38
3	METODOLOGIA	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1	LEVANTAMENTO DAS PRINCIPAIS PRÁTICAS DE USO DE CRONOGRAMAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	43
4.2	ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DE CRONOGRAMA DE OBRAS REAL ...	50
4.2.1	Dados e descrição do estudo de caso	50
4.2.2	Avaliação do desvio de prazo global	52
4.2.3	Implementação da Simulação de Monte Carlo	52
4.2.4	Análise do cronograma CPM quanto a probabilidade de sucesso	55
4.2.5	Cenários alternativos de prazos de projetos.....	58
4.2.6	Comparativo dos resultados obtidos por outros pesquisadores	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64

6	REFERÊNCIAS.....	66
7	APÊNDICE.....	71
7.1	APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DAS PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO DE CRONOGRAMAS	71
7.2	APÊNDICE B – RELATOS DOS ENGENHEIROS ENTREVISTADOS	72
7.3	APÊNDICE C – CRONOGRAMA DE OBRAS EXECUTIVO.....	73
8	ANEXOS.....	80
8.1	ANEXO 1 - TABELA Z DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL.....	80

1 INTRODUÇÃO

O setor de construção civil é responsável por agregar um conjunto de atividades com grande importância para o desenvolvimento econômico e social brasileiro. Este setor tem influência direta na qualidade de vida da população, assim como na infraestrutura econômica do país. Segundo dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016), estima-se que a construção civil responda por cerca de 8% do Produto Interno Bruto (OLIVEIRA, 2019). Todavia, a indústria da construção civil apresenta peculiaridades em relação a outras indústrias. Todos os projetos apresentam riscos porque são únicos, possuem restrições, são baseados em considerações, desenvolvidos por pessoas e sujeitos a influências externas (APM, 2020).

Conforme o guia PMBOK (2017, p.4), um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Vargas (2005, p.7) também caracteriza “projeto” como um empreendimento não repetitivo, caracterizado por uma sequência clara e lógica de eventos, com início, meio e fim, que se destina a atingir um objetivo claro e definido, sendo conduzido por pessoas dentro de parâmetros predefinidos de tempo, custos, recursos envolvidos e qualidade. A partir deste conceito, aliado ao crescimento da competitividade comercial e a constante busca por melhoria de processos produtivos, é nítida a importância dos projetos ao incorporarem um caráter norteador da sociedade, tanto em desenvolvimento técnico-científico quanto econômico.

Igualmente significativa é a abordagem de gerenciamento de projetos, definido por Vargas (2005, p.7) como um conjunto de ferramentas gerenciais que permitem que a organização desenvolva um conjunto de habilidades, incluindo conhecimento e capacidades individuais destinado ao controle de eventos únicos e complexos. Destacado também por Kerzner (2016) que aponta como a gestão de projetos evoluiu de um conjunto de processos recomendável para uma metodologia tida como obrigatória para a sobrevivência das empresas. As empresas estão percebendo que todo o seu negócio, inclusive a maioria das atividades rotineiras podem ser compreendidas como uma série de projetos. Recomenda-se que as ferramentas de gestão estejam presentes em todas as etapas de um projeto, desde da concepção, planejamento, execução e até a sua conclusão.

Em complemento, Nascimento (2007) relaciona que a otimização de prazos, custos e qualidade, considerados fatores básicos para o sucesso de projetos, só é possível se existir uma gestão de projetos eficaz. Especificamente no setor de construção civil, custos e prazos estão

entre as principais restrições que orientam os diversos empreendimentos realizados. Ainda assim, diversos são os exemplos internacionais e nacionais de obras de construção com graves desvios em orçamentos e cronogramas planejados. Mendes (2017) cita o megaprojeto da construção da Ópera de Sydney, que reportou um custo recorde final 14 vezes maior que o valor orçado, sendo entregue com atraso de 10 anos. Outro levantamento realizado por Flyvbjerg, Holm e Buhl (2011) aponta que historicamente grande parte dos projetos de construção civil apresentam excedentes no orçamento ou atrasos de cronograma.

De acordo com o ‘Estudo de *benchmarking* em gerenciamento de projetos’, desenvolvido pelos *chapters* brasileiros do PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI) em 2009, o problema mais frequente em projetos é o não cumprimento dos prazos, sendo apontado por 60% dos respondentes da pesquisa. O atraso pode ocorrer em consequência de diversos fatores internos e externos, como o atraso de fornecedores, fatores climáticos, ausência de máquinas e equipamentos, planejamento inadequado, ou por causa de riscos não avaliados previamente.

Mesmo com todos esses problemas, o cronograma formal de obras, ferramenta essencial para o monitoramento e controle de prazos, ainda é frequentemente considerado como dispensável ou empregado a partir de premissas equivocadas, sobretudo em obras de pequeno e médio porte. Segundo o levantamento de Galloway (2006), destacam-se os diagramas de rede CPM (*Critical Path Method*) e PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) como métodos de cronograma mais utilizados na construção civil. Apesar de muito difundidas, um lado negativo dos métodos CPM/PERT está relacionado a definição de uma duração fixa para as atividades de trabalho, assim, negligenciando possíveis eventualidades e imprevistos que possam ocorrer durante as obras e seus respectivos atrasos. Dessa forma, essas metodologias vêm sendo amplamente criticadas pelo seu caráter excessivamente determinístico, compostas por muitas simplificações (LEAL E OLIVEIRA, 2011).

Por outro lado, já existem técnicas extensivamente pesquisadas que poderiam preencher as lacunas citadas de forma mais efetiva que os métodos tradicionais. Chamadas de Simulações, essas ferramentas têm ganho cada vez mais a confiança dos profissionais de gerenciamento de projetos, principalmente pela sua capacidade de modelar as várias aleatoriedades envolvidas em um projeto (LEE E PEÑA-MORA, 2005). Leal e Oliveira (2011) identificaram que a simulação é aplicada predominantemente em gerenciamento de riscos, sendo a Simulação de Monte Carlo (SMC) o principal método de análise de prazos.

Segundo Schuyler (2001), a simulação depende de dois elementos essenciais: um modelo que realiza a projeção dos resultados do projeto e seus valores e uma técnica que

repetitivamente gera cenários, em resposta à alimentação de amostragens aleatórias ou estocásticas de distribuições probabilísticas. O objetivo da simulação é determinar qual a chance do planejamento base ser bem-sucedido.

Desse modo, o presente trabalho busca compreender e avaliar a viabilidade da utilização da Simulação de Monte Carlo como método de gerenciamento de cronogramas em obras de construção civil. Além disso, propõe-se integrar e difundir o conhecimento científico no cotidiano profissional ao abordar o questionamento: como aproximar as estimativas de planejamento de cronogramas para um maior grau de assertividade da realidade?

Neste trabalho foi realizada, primeiramente, uma revisão bibliográfica a respeito dos temas pertinentes ao estudo, tanto na área de gerenciamento de projetos quanto na área de probabilidade e estatística. Em seguida, realizou-se um levantamento de quais são os métodos mais utilizados para o monitoramento e controle de prazos pelas construtoras em Pato Branco, Paraná.

Posteriormente, foi realizada a análise de um cronograma de obras real já finalizado com o intuito de calcular o desvio em relação ao prazo de entrega planejado. Por fim, o mesmo cronograma foi remodelado seguindo a metodologia SMC, sendo então determinado um intervalo de prazo de entrega da obra mais provável. As informações foram organizadas em tabelas e gráficos apresentando o índice de assertividade de cada método, bem como a comparação dos resultados obtidos por outros pesquisadores e, assim, promovendo a discussão objetiva dos resultados deste estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica da utilização da Simulação de Monte Carlo em conjunto com o método tradicional CPM empregado no gerenciamento de cronogramas de obras da construção civil.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento das principais práticas de uso de cronogramas de obras por parte das construtoras em Pato Branco;
- Avaliar o desvio de prazo global a partir de um cronograma de obras real;

- Implementar o método de Simulação de Monte Carlo em estudo de caso;
- Analisar o cronograma CPM quanto a probabilidade de satisfazer a duração total e data de término da obra estimadas;
- Propor cenários alternativos de prazos e de projeto a partir da Simulação de Monte Carlo.

1.2 JUSTIFICATIVA

No contexto de um mundo globalizado e tecnológico, a assertividade dos parâmetros temporais, monetários e de qualidade têm ganhado cada vez mais relevância no planejamento e gestão de diversos empreendimentos. O caráter profissional de gerenciamento de projetos é destacado por Nascimento (2007), apontando que os mesmos podem ser considerados bem-sucedidos quando os objetivos do projeto são alcançados dentro do prazo e custo estabelecidos, de acordo com o desempenho e tecnologia especificada, bem como a utilização de forma eficiente dos recursos alocados ao projeto e a satisfação de todas as partes envolvidas.

Esses fatores se tornam ainda mais decisivos, uma vez que a vida útil de produtos e serviços têm sido consideravelmente reduzidos ao longo dos anos. Dessa forma, não só a agilidade na entrega de projetos é esperada pelos consumidores, mas também a previsibilidade adequada destes prazos, conforme são definidos em fase de planejamento. Nesse sentido, a indústria de construção civil brasileira ainda sofre defasagem, conhecida pela baixa capacitação em canteiros de obras, o que resulta em baixa produtividade e qualidade construtiva, podendo interferir em atrasos de entrega de obra, problemas construtivos e desmotivação profissional. (NEVES, 2014). Especialmente neste setor, metodologias para a elaboração de cronogramas são determinantes para a conclusão satisfatória dos empreendimentos. Por exemplo, a definição das etapas construtivas e, conseqüentemente, a correta estimativa da duração das atividades requeridas, devem ser considerados para o cumprimento dos prazos planejados. Entretanto, metodologias consolidadas de gerenciamento de projetos, particularmente com o método CPM/PERT, vem sendo amplamente discutidas pelo seu caráter excessivamente determinístico, compostas por muitas simplificações (LEAL E OLIVEIRA, 2011).

Como contraproposta, a utilização dos recentes métodos de simulações tem se mostrado uma alternativa viável em gerenciamento de projetos. Principalmente pela capacidade dessa metodologia em modelar as várias aleatoriedades envolvidas em um projeto (LEE E PEÑA-MORA, 2005). Este método tem sido aplicado em diversas áreas que vão desde a

medicina, análise de investimentos e até o gerenciamento de projetos (OLIVEIRA JÚNIOR; DANTAS; MACHADO, 2013).

A originalidade deste trabalho está na sua abordagem quantitativa e estocástica, confrontando as metodologias tradicionais em relação às simulações para definição de cronogramas de obras. Para isso, propõe-se a avaliação de desvio de prazo a partir de estudo de caso com cronograma real cedido por uma construtora no município de Pato Branco, Paraná. Os resultados evidenciaram o grau de assertividade de planejamento antes e após a utilização da SMC, sendo os resultados gerados por meio dos softwares *@Risk*, *Microsoft Project* e *Excel* 2016.

Por fim, o estudo auxilia na difusão teórica de novos procedimentos em gerenciamento de projetos na construção civil, como a simulação de Monte Carlo e metodologias alternativas, bem como manual prático para utilização das mesmas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica é uma etapa da pesquisa que vincula publicações de autores com o tema de estudo, estabelece a definição dos principais termos investigados, proporcionando credibilidade ao objeto pesquisado. Ferreira (2010) corresponde fundamentação a sinônimos como firmar, estabelecer, basear, justificar, documentar, provar.

Este capítulo aborda os temas relacionados a gerenciamento de projetos, gerenciamento de cronogramas e métodos de gerenciamento de prazos, enfatizando estas áreas de conhecimento com uma perspectiva de aplicabilidade em projetos da construção civil.

2.1 GERENCIAMENTO DE PROJETOS

A abordagem de gerenciamento de projetos é relativamente moderna. É caracterizada por métodos de reestruturação da administração e adaptação de técnicas especiais de gestão, com o objetivo de obter melhor controle e utilização dos recursos existentes (KERZNER, 2016, p.2). Para um melhor entendimento do tema, inicialmente é necessário compreender a definição de projeto. Segundo o PMI (2017, p.542), renomado instituto responsável por difundir as práticas de gerenciamento de projetos, determina um projeto como “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único”. Isso significa que projetos possuem um começo e um término bem definidos. O fim de um projeto é alcançado quando os objetivos são atingidos ou pela necessidade de encerramento.

É possível observar que a definição da NBR ISO 10006/2000 – Gestão da qualidade: Diretrizes para a qualidade no gerenciamento de Projetos, possui similaridades com as considerações feitas pelo PMI quanto a um projeto:

Um processo único, consistindo de um grupo de atividades coordenadas e controladas com datas de início e término, incluindo limitações de tempo, custo e recursos. Um projeto normalmente apresenta as características de ser individual ou podendo fazer parte de uma estrutura de projetos mais abrangentes, além de ter resultado de uma ou várias unidades de um produto (NBR ISO 10006, pg. 2, ABNT, 2000).

Já Webster (1993) introduz os conflitos na definição de projetos, salientando que projetos são instrumentos de mudanças, ou seja, de concepção de algo com caráter novo ou diferente. Por possuírem recursos limitados para que se alcancem os objetivos, o gerenciamento dos possíveis conflitos deve também ser previstos. Este sentido vai de encontro a importância do gerenciamento de projetos destacados no PMBOK (2017, p.8):

O gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto, a fim de atender seus requisitos. O gerenciamento de projetos é realizado através da aplicação e integração dos seguintes processos: (1) Iniciação, (2) Planejamento, (3) Execução, (4) Controle e (5) Encerramento. Gerenciar projetos inclui:

- Identificar requisitos;
- Estabelecer objetivos claros e atingíveis;
- Balancear demandas conflitantes de escopo, cronograma, custo, qualidade, recursos e riscos;
- Adaptar especialidades, planos e abordagens às preocupações e expectativas dos diversos interessados.

2.1.1 Áreas de conhecimento em gerenciamento de projetos

As áreas de conhecimento em gerenciamento de projetos são campos ou áreas de especialização que costumam ser aplicadas ao gerenciar projetos. Uma área de conhecimento é um conjunto de processos associados com um tema específico em gerenciamento de projetos (PMI, 2017, p. 553). A Figura 1 ilustra as dez áreas mais utilizadas na maior parte dos projetos. Todavia, as necessidades de projetos específicos podem requerer áreas de conhecimento adaptadas ou adicionais.



Figura 1: Áreas do conhecimento de gerenciamento de projetos
Fonte: PMBOK, 2017.

Dessa forma, é possível categorizar elementos importantes de um projeto e facilitar a padronização de procedimentos específicos para cada área de conhecimento. Por exemplo, algumas das áreas descritas pelo PMI (2017, p. 553):

- a) Gerenciamento do Escopo: inclui os processos necessários para assegurar que o projeto contém todo o trabalho necessário, e apenas o necessário, para terminar o projeto com sucesso.
- b) Gerenciamento de Riscos: inclui processos de condução de planejamento, identificação e análise de gerenciamento de risco, planejamento de resposta, implementação de resposta e monitoramento de risco em um projeto.
- c) Gerenciamento do Tempo: inclui os processos necessários para gerenciar o término dentro do prazo do projeto.

2.2 GERENCIAMENTO DE CRONOGRAMAS

Conforme definido pelo PMI (2017, p. 175), o cronograma do projeto fornece um plano detalhado que representa como e quando o projeto entregará os produtos, serviços e resultados definidos no escopo do projeto, e serve como ferramenta de comunicação, gerenciamento de expectativas das partes interessadas e como base para emissão de relatórios

de desempenho. Cleland e Ireland (2002) igualmente ressaltam a importância do cronograma como um dos requisitos básicos do planejamento de projetos.

Já o gerenciamento dos cronogramas, também conhecido gerenciamento do tempo do projeto, está fortemente ligado a todas as outras áreas de conhecimento do gerenciamento de projetos, como mostrado anteriormente na Figura 1. Segundo o PMI (2017, p. 173), o gerenciamento do cronograma do projeto inclui os processos necessários para gerenciar o término pontual do projeto. O gerenciamento do tempo vai desde a definição de recursos por atividade, estimativa de duração e montagem até o controle do cronograma. A seguir, estão descritos os principais processos de Gerenciamento do Cronograma do Projeto:

- a) **Planejar o Gerenciamento do Cronograma:** o processo de estabelecer as políticas, os procedimentos e a documentação para o planejamento, desenvolvimento, gerenciamento, execução e controle do cronograma do projeto.
- b) **Definir as Atividades:** processo de identificação e documentação das ações específicas a serem realizadas para produzir as entregas do projeto.
- c) **Sequenciar as Atividades:** o processo de identificação e documentação dos relacionamentos entre as atividades do projeto.
- d) **Estimar as Durações das Atividades:** o processo de estimativa do número de períodos de trabalho que serão necessários para terminar atividades individuais com os recursos estimados.
- e) **Desenvolver o Cronograma:** O processo de análise de sequências de atividades, durações, requisitos de recursos e restrições de cronograma para criar o modelo de cronograma do projeto para execução, monitoramento e controle do mesmo.
- f) **Controlar o Cronograma:** o processo de monitorar o status do projeto para atualizar o cronograma do projeto e gerenciar mudanças na linha de base do mesmo.

2.2.1 Definição e sequenciamento das atividades

Definir as atividades é o processo de identificação e documentação das ações específicas a serem realizadas para produzir as entregas do projeto. O principal benefício deste processo é a divisão dos pacotes de trabalho em atividades que fornecem uma base para estimar, programar, executar, monitorar e controlar os trabalhos do projeto (PMI, 2017, p. 183). Dessa forma, a etapa de determinação das atividades que farão parte do cronograma é o primeiro passo de gerenciamento do tempo.

Em seguida, é possível desenvolver a EAP (Estrutura Analítica de Projetos), importante documento formal em gerenciamento de projetos, até os seus níveis mais baixos. A EAP fornece uma divisão estruturada do escopo do trabalho em pacotes de trabalho gerenciáveis que serão decompostos posteriormente em uma lista de atividades (BURKE, 2013). No entanto, Barcaui (2015) ressalta a dependência de gerenciamento de cronogramas com o gerenciamento de escopo, destacando que definir as atividades se torna mais viável somente após o conhecimento total do escopo pretendido no projeto. Para facilitar o processo de definição das atividades, a NBR 10006/2000 (p. 7) recomenda que:

- Ao se definir as atividades, a administração do projeto envolva as pessoas que realizarão as atividades, para aproveitar as respectivas experiências, nivelar conhecimentos e obter comprometimento;
- Definir cada atividade de tal maneira que os resultados sejam mensuráveis;
- As interações entre as atividades e as interfaces entre o projeto e as partes interessadas sejam identificadas e documentadas.

Definidas as atividades e suas características, a próxima etapa diz respeito ao sequenciamento das atividades. Sequenciar as atividades é o processo de identificação e documentação dos relacionamentos entre as atividades do projeto. O principal benefício deste processo é a determinação da sequência lógica do trabalho a fim de obter o mais alto nível de eficiência em faces de todas as restrições do projeto (PMI, 2017, p. 187). Todas as atividades, com exceção da primeira e última, devem ser conectadas a pelo menos uma atividade predecessora e uma atividade sucessora com um relacionamento lógico apropriado, sempre visando a um cronograma realista de projeto. PMI (2017, p. 188) sintetiza que o processo de sequenciar as atividades concentra-se em converter as atividades do projeto de uma lista para um diagrama, para facilitar a elaboração de uma linha base de cronograma como será mostrado nas seções a seguir.

2.2.2 Duração das atividades

Estimar as durações das atividades é o processo de estimativa do número de períodos de trabalho que serão necessários para terminar atividades individuais com os recursos estimados. O principal benefício desse processo é fornecer a quantidade de tempo necessária para concluir cada atividade (PMI, 2017, p. 195). Kerzner (2016) concorda com as diretrizes do PMI ao afirmar que as estimativas de duração de atividades são avaliações quantitativas do

que será necessário para finalizar uma atividade, porém complementa dizendo que este número costuma ser o mais provável e ainda pode apresentar incertezas.

Moder; Phillips e Davis (1983) aconselham que a atividade seja considerada independente das atividades que as precedem ou sucedem, e ainda, que sejam considerados níveis normais de mão-de-obra, equipamentos, ou outros recursos para cada atividade. Dessa forma, a estimativa é feita para cada atividade como o tempo médio necessário, denominado “duração da atividade”. Este termo significa o tempo gasto pela atividade, expresso em unidades, tais como dias de trabalho, horas e semanas. Pela NBR 10006/2000 também se recomenda que as estimativas para duração das atividades sejam estabelecidas por pessoal com responsabilidade para essas atividades, ou seja, a partir de experiências passadas e verificadas quanto à aplicabilidade às atuais condições do projeto. Quando a estimativa de duração envolver significativa incerteza, convém que os riscos sejam avaliados e minimizados, incorporando-se tolerâncias apropriadas aos riscos.

Quanto ao cálculo da duração, Limmer (1996) afirma que a duração de cada atividade é determinada em função do tipo e da quantidade de serviço que a compõem, bem como em função da produtividade da mão-de-obra que a executa. Mattos (2010) destaca que, portanto, este processo é de extrema importância, sendo uma das responsáveis pela obtenção do prazo do projeto e dos marcos intermediários. A equação da duração da atividade é dada por Mattos (2010):

(1)

$$Duração = \frac{Quantidade\ de\ serviço}{Produtividade}$$

2.2.2.1 Banco de dados de referência

O fator quantidade de serviço normalmente está descrito no projeto executivo em conjunto com o orçamento detalhado do projeto, por exemplo, 1.000 m² de alvenaria. Já para o fator de produtividade pode-se utilizar bancos de dados de como referência para o planejador no dimensionamento da duração das atividades. No entanto, é recomendado usar com cautela esses bancos de dados, já que a produtividade depende de muitos fatores (BAIA, 2015). Por isso é que se indica medir as próprias produtividades da equipe ao invés de se utilizar um índice referencial, uma vez que uma pequena diferença no coeficiente unitário pode gerar um alto impacto no valor global do cronograma e orçamento (LOUZADA, 2018).

No âmbito da construção civil, as referências mais utilizadas são o SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e a TCPO (Tabela de

Composições e Preços para Orçamentos). Em resumo, SINAPI e TCPO são cadernos técnicos que fornecem informações sobre a composição unitária de um serviço, isto é, a descrição e quantificação de cada insumo necessário para realizar o serviço bem como os índices empregados para executar uma unidade de serviço, conforme mostrado na Figura 2.

Código / Seq.	Descrição da Composição		Unidade
01.PARE.ALVE.009/02	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS VAZADOS DE CONCRETO DE 19X19X39CM (ESPESSURA 19CM) DE PAREDES COM ÁREA LÍQUIDA MENOR QUE 6M2 COM VÃOS E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO MANUAL. AF_06/2014		M2
87464			
Vigência: 06/2014		Última atualização: 01/2016	

COMPOSIÇÃO				
Item	Código	Descrição	Unidade	Coefficiente
C	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,3200
C	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6600
I	654	BLOCO VEDAÇÃO CONCRETO 19 X 19 X 39 CM (CLASSE D - NBR 6136)	UN	13,6000
C	87369	ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA MÉDIA) PARA EMBOÇO/MASSA ÚNICA/ASSENTAMENTO DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO, PREPARO MANUAL. AF_06/2014	M3	0,0129
I	34548	TELA DE AÇO SOLDADA GALVANIZADA/ZINCADA PARA ALVENARIA, FIO D = *1,20 A 1,70* MM, MALHA 15 X 15 MM. (C X L) *50 X 17,5* CM	M	0,7850
I	37395	PINO DE AÇO COM FURO, HASTE = 27 MM (AÇÃO DIRETA)	CENTO	0,0189

Figura 2: Composição unitária de alvenaria de concreto
Fonte: SINAPI, 2014.

As composições do SINAPI, antes de integrarem o banco de dados, passam por processo de dimensionamento da produtividade da mão de obra e equipamentos, além de consumos e perdas de materiais envolvidos na execução dos diversos serviços na construção civil. Tal procedimento é denominado de aferição, sendo que cada composição aferida apresenta coeficientes determinados estatisticamente a partir da amostra composta por, no mínimo, dez diferentes obras representativas do território nacional (MELO, 2016).

Ao utilizar os índices médios dados pelas composições, na Figura 2 exibido na coluna “coeficiente”, é possível calcular a duração de uma atividade conforme a equação:

(2)

$$Duração = (Coeficiente) \times (Quantidade\ de\ serviço)$$

Ou, simplificada como exposto anteriormente na equação 1, sendo a produtividade o inverso do coeficiente, também chamado de “índice”. Segundo Mattos (2010, p. 84), na prática da construção civil, o mais comum é o planejador atribuir a duração às atividades do cronograma e então calcular o efetivo da equipe necessária.

2.2.3 Diagrama de rede

Um projeto é constituído por um conjunto de atividades distintas, independentes entre si, porém ligadas umas às outras de forma lógica. Esta ligação lógica pode ser desenhada através de uma figura chamada diagrama de rede (PEINADO E GRAEML, 2007).

Um diagrama de rede do cronograma de projeto é uma representação gráfica das relações lógicas, também chamadas de dependências, entre as atividades do cronograma do projeto. Um diagrama pode ser produzido manualmente ou através do uso de um software de gerenciamento de projetos (PMI, 2017). Os dois métodos para definição do diagrama de rede são o método dos blocos e o método das flechas. Mattos (2010) os descreve como:

- **Método das flechas:** todas as tarefas são representadas por flechas (setas) orientadas entre dois eventos, que são pontos de convergência e divergência de atividades. Sendo que, toda seta parte de um evento e termina em outro, e não podem existir duas atividades com o mesmo par de eventos de começo e de término. Um exemplo de diagrama de rede que utiliza o método das flechas está indicado na Figura 3.

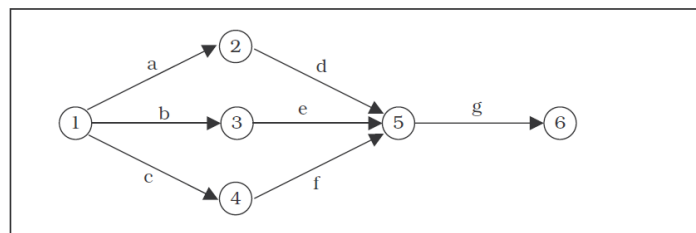


Figura 3: Diagrama de rede pelo método das flechas
Fonte: PEINADO E GRAEML, 2007.

- **Método dos blocos:** todas as atividades são representadas por blocos que estão ligados entre si por flechas que mostram a relação de dependência.

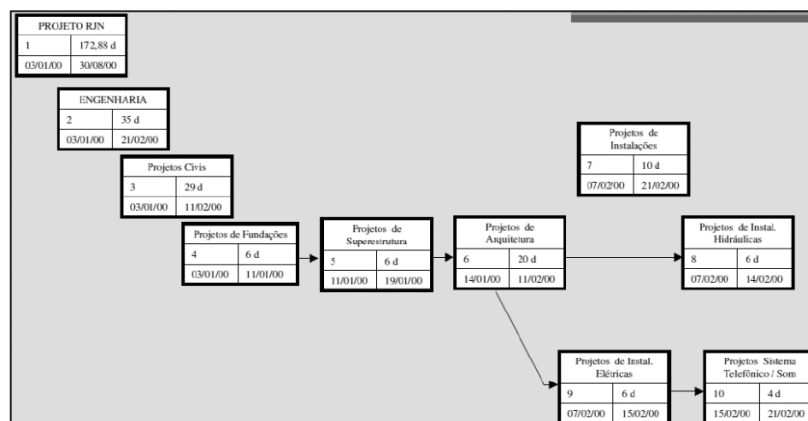


Figura 4: Diagrama de rede pelo método dos blocos
Fonte: MATTOS, 2010.

Ambos modelos são bastante similares, qualquer que seja o método adotado, o resultado final será um diagrama de rede do cronograma do projeto no qual é possível identificar o caminho crítico e as folgas das respectivas atividades.

2.2.4 Diagrama de Gantt

O diagrama de Gantt é uma ferramenta simples desenvolvida pelo norte americano Henry L. Gantt em 1917. Trata-se de um gráfico de forma matricial das atividades do projeto e uma linha do tempo onde, para cada tarefa é atribuída uma barra de comprimento proporcional ao tempo de duração da tarefa. O gráfico de Gantt passou a ser largamente utilizado no controle de projetos devido a sua simplicidade além de possuir excelente comunicação visual (PEINADO E GRAEML, 2007).

Segundo o PMI (2017), o diagrama de Gantt também é conhecido como gráfico de barras, uma representação visual das informações do cronograma em que as atividades são listadas no eixo vertical, as datas são mostradas no eixo horizontal, e as durações das atividades aparecem como barras horizontais posicionadas de acordo com as datas de início e término.

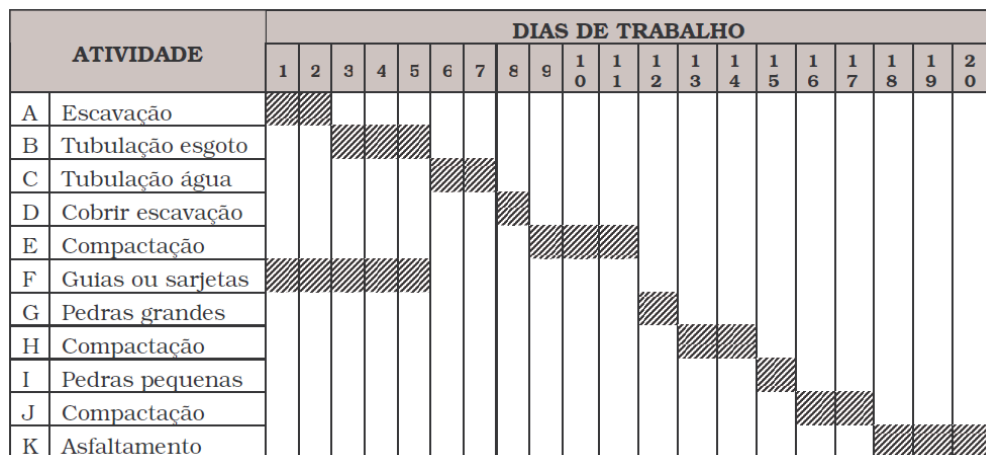


Figura 5: Diagrama de Gantt
Fonte: PEINADO E GRAEML, 2007.

Comumente, o diagrama de Gantt auxilia gerentes de projeto durante o planejamento e desenvolvimento do cronograma ao determinar maneiras adequadas de posicionar as diferentes tarefas de um projeto no período determinado. Mattos (2010) destaca as vantagens do método por servir como base para alocação dos recursos, isto é, uma visão global das capacidades disponíveis de mão de obra para cada data específica.

Dada a importância da agilidade e dos meios digitais, esta ferramenta está presente nos principais *softwares* de gerenciamento de projetos como o *Microsoft Project*, reconhecido

mundialmente, e a plataforma de gestão *Sienge*, bastante utilizado no mercado da construção civil brasileira. Estes *softwares* funcionam por meio de planilhas eletrônicas onde é possível elencar as atividades da obra, lançar os índices unitários de produtividade bem como as frentes de trabalho para cada tarefa. O cronograma é então representado visualmente pelo diagrama de Gantt, facilitando o acompanhamento da obra em tempo real.

2.3 MÉTODOS DE GERENCIAMENTO DE PRAZOS

Após a etapa de desenvolvimento do cronograma, é necessário que se estabeleça métodos de controle e monitoramento dos prazos de projeto. Segundo o PMI (2017), o próprio desenvolvimento de um cronograma aceitável do projeto é processo iterativo, servindo como modelo para definir as datas planejadas de início e fim das atividades e marcos do projeto. Todavia, é possível requerer análise e revisão das estimativas de duração, recursos e reservas sempre que necessário. O cronograma é então analisado para determinar conflitos com relacionamentos lógicos e se o nivelamento de recursos é compatível para que seja aprovada a linha base de cronograma.

PMI (2017, p. 209) descreve a análise de rede do cronograma como um conjunto de técnicas abrangentes, destacando a utilização do método do caminho crítico (CPM, *Critical Path Method*), técnicas de otimização de recursos, técnicas de modelagem e simulações. Ao empregar estas técnicas, é possível avaliar os riscos e reduzir as chances de um desvio de cronograma.

2.3.1 CPM – Critical Path Method

O PMI (2017, p. 210) define o método do caminho crítico:

O método do caminho crítico é usado para estimar a duração mínima do projeto e determinar o grau de flexibilidade nos caminhos lógicos da rede dentro do modelo de cronograma. Essa técnica de análise de rede do cronograma calcula as datas de início mais cedo, término mais cedo, início mais tarde e término mais tarde de todas as atividades sem considerar quaisquer limitações de recursos, através da realização de uma análise de caminhos de ida e de volta através da rede do cronograma.

Em síntese, o caminho crítico é a sequência de atividades que representa o caminho mais longo de um projeto, que determina a menor duração possível do mesmo. Como ilustrado na

Figura 6, o caminho mais longo tem a menor folga total, geralmente zero. As datas resultantes de início e término mais cedo e início e término mais tarde não são necessariamente o cronograma do projeto, mas sim uma indicação dos períodos de tempo dentro dos quais a atividade poderia ser executada (PMI, 2017).

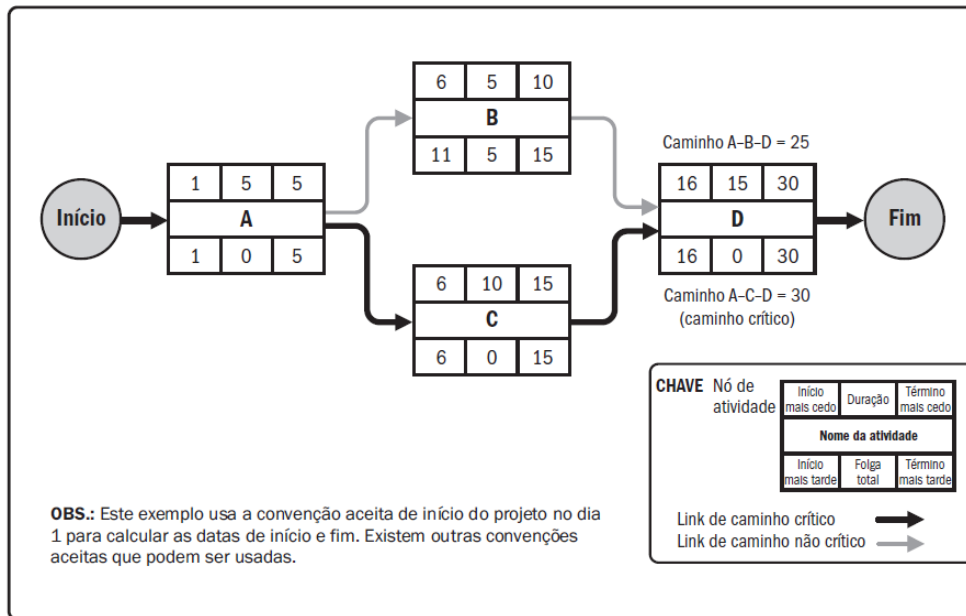


Figura 6: Diagrama de rede pelo método dos blocos
Fonte: PMBOK, 2017.

Uma das metas primárias do CPM é determinar quais atividades pertencem ao caminho crítico, pois qualquer atraso nas datas de início ou término das chamadas atividades críticas atrasaria a conclusão do projeto (RAGSDALE, 2004).

Nascimento (2007) ressalta que o método CPM trata as durações das atividades em um modo determinístico, na qual é essencial que haja experiência prévia com a programação dessas atividades, permitindo que os envolvidos possam fazer estimativas quanto aos prazos e recursos alocados com significativa precisão. Peinado e Graeml (2007) também recomendam o uso das estimativas de tempo determinísticas somente quando existe um elevado grau de certeza do tempo de duração de cada tarefa. Dessa forma, os tempos reais de execução das tarefas serão muito próximos dos tempos estimados, uma vez que os cálculos das datas e folgas são feitos considerando-se os tempos de duração das tarefas como sendo de caráter fixo.

De maneira prática, ao utilizar o método CPM em obras de construção civil, o cumprimento de prazos e sucesso do projeto estão intimamente ligados ao nível de familiaridade que os envolvidos possuem com os processos construtivos específicos. Quanto maior é o conhecimento e experiência em execução de pontes, por exemplo, melhor será o planejamento, desenvolvimento e controle de cronograma para este tipo de obra.

2.3.2 PERT – Program Evaluation and Review Technique

A técnica PERT foi desenvolvida para aplicar um tratamento estatístico para uma gama de possíveis durações das atividades. É um modelo probabilístico, o qual considera três durações para cada atividade: pessimista, otimista e mais provável. Estas durações são consideradas em uma distribuição beta de três parâmetros para calcular o tempo esperado para a atividade (BURKE, 2013). Moreira (2008) recomenda que o método PERT seja utilizado em projetos cujas estimativas de tempo não podem ser previstas com certeza, ou seja, não são determinísticas. A seguir, são descritas as durações na nomenclatura usual, posteriormente utilizadas na equação do método PERT (equação 5).

- **Tempo otimista (t_o):** é o tempo mínimo que uma atividade pode ser finalizada, cenário de condições totalmente favoráveis durante sua execução;
- **Tempo pessimista (t_p):** é a atividade realizada no tempo máximo, cenário em condições totalmente adversas;
- **Tempo mais provável (t_n):** também chamada de realista, é o tempo normal que uma atividade pode ser realizada. Ocorre com mais frequência se a atividade for costumeira.

A Figura 7 ilustra um diagrama de rede definido pelo método das flechas onde é possível ver três entradas de possíveis durações para cada atividade (t_o , t_n e t_p).

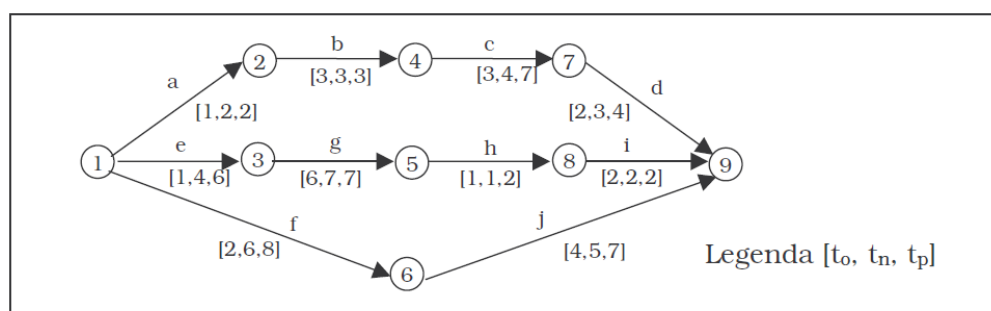


Figura 7: Diagrama de rede probabilístico
Fonte: PEINADO E GRAEML, 2007.

Cleland e Ireland (2002, p. 200) descrevem o método PERT como “uma metodologia semelhante ao CPM, que usa três estimativas para calcular o caminho de tempo mais longo. Em geral, os modelos PERT e CPM são usados indistintamente, com o mesmo fim”.

Peinado e Graeml (2007), definem o cálculo da duração das atividades pela média ponderada das três estimativas de tempo (equação 3), bem como a respectiva variância (equação 4) e por fim, o desvio-padrão do caminho crítico (equação 5).

(3)

$$T_e = \frac{t_o + 4t_n + t_p}{6}$$

(4)

$$\sigma^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2$$

(5)

$$\sigma_{cc} = \sqrt{\sum \sigma_{cc1}^2 + \sigma_{cc2}^2 + \sigma_{cc3}^2 + \dots + \sigma_{ccn}^2}$$

Onde:

T_e : Tempo estimado de atividade

σ^2 : Variância

σ_{cc1}^2 : Variância da atividade 1 pertencente ao caminho crítico

σ_{cc} : Desvio-padrão do caminho crítico

Após o cálculo de tempo estimado para cada atividade, as três entradas de tempo são substituídas no diagrama por um único valor, representado por T_e . Nesta etapa, é realizado o cálculo de tempos de início e término mais cedo e mais tarde analogamente ao método CPM. Verificadas as folgas de valor zero, é possível identificar o caminho crítico de projeto.

Posteriormente, encontra-se a data estimada de término do projeto, por exemplo 90 dias. O método PERT permite calcular probabilidade de concluir o projeto tanto antes quanto depois da data estimada, em 80 ou 100 dias, respectivamente. Para se determinar a probabilidade de o projeto terminar em um tempo desejado é necessário analisar inicialmente a variância das atividades críticas. Quando somadas (equação 5), o resultado é o desvio-padrão total do

caminho crítico (σ_{cc}) . A probabilidade de término do projeto em um determinado tempo está atrelada ao caminho crítico, sendo dada por:

(6)

$$Z = \frac{T_{cd} - T_{ce}}{\sigma_{cc}}$$

Onde:

Z: Coeficiente do número de desvios padrão do caminho

T_{cd} : Tempo de conclusão desejado

T_{ce} : Tempo de conclusão estimado

Por fim, correlaciona-se o coeficiente Z com a tabela de distribuição normal (ver o Anexo 1) para se obter a probabilidade. Por exemplo, para $Z = 1,34$ a probabilidade de conclusão do projeto seria de 90,99%. A figura 8 ilustra um exemplo de uma curva de distribuição normal.

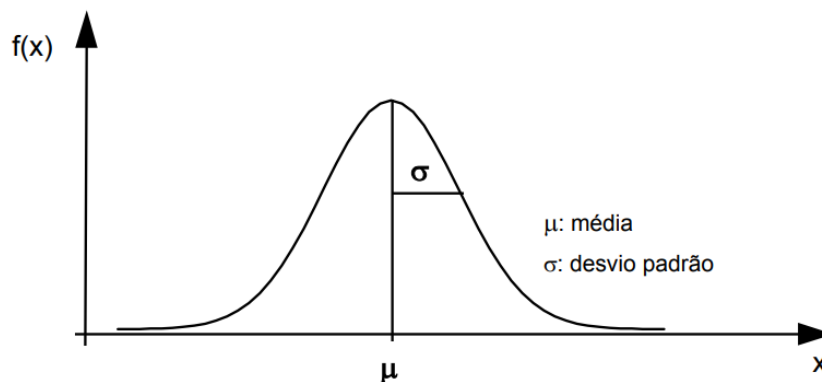


Figura 8: Distribuição de curva normal típica
Fonte: CORREIA, 2003.

2.3.3 SMC - Simulação de Monte Carlo

A utilização da SMC leva algumas vantagens sobre a técnica PERT. Na abordagem probabilística PERT assume-se que distribuição do tempo total de duração de um projeto converge para uma distribuição normal, resultado de uma distribuição beta de três parâmetros para cada atividade. No entanto, sabe-se que o setor da construção civil é um ambiente complexo e, portanto, cada uma das atividades apresenta características próprias. Assim, não se pode concluir que sempre as atividades de um projeto na construção civil seguem uma

distribuição beta (ANDRADE, 2012). Neste sentido, PMI (2017, p. 213) esclarece a simulação em análise de dados de um projeto como:

A simulação modela os efeitos combinados de riscos individuais do projeto e outras fontes de incerteza para avaliar o impacto potencial sobre o cumprimento dos objetivos do projeto. A técnica de simulação mais comum é a análise de Monte Carlo, pela qual os riscos e outras fontes de incerteza são usados para calcular os resultados de cronograma possíveis para o projeto total. A simulação envolve o cálculo de várias durações de pacotes de trabalho com diferentes conjuntos e premissas de atividades, restrições, riscos, questões ou cenários usando distribuição de probabilidade diversas e outras representações de incerteza.

Em seu guia *Practice for Standard Scheduling*, PMI (2011, p.16) descreve que a simulação de Monte Carlo considera a incerteza da duração das atividades ao atribuir os riscos registrados em uma base de dados diretamente às estimativas otimistas, pessimistas e mais prováveis para cada atividade. O método consiste basicamente em gerar aleatoriamente sucessivas amostras N (variáveis aleatórias), que são, então, testadas contra um modelo estatístico, isto é, a partir de uma distribuição de probabilidades. Desta maneira, um sistema no qual se aplica o SMC é considerado um sistema estocástico, ou seja, usa probabilidades ou aleatoriedade nas suas variáveis de entrada, que no caso dos cronogramas, as variáveis são as durações das atividades de projeto (SAMANEZ, 2009).

Evans e Olson (2001) ressaltam que as incertezas devem ser caracterizadas por distribuições de probabilidades específicas para os valores de entrada. A escolha de distribuição apropriada pode ser feita através da análise empírica ou dados históricos. Quando tais dados não são disponíveis, o modelador deve escolher uma distribuição apropriada (uniforme, normal, triangular, exponencial, etc.) estimando seus parâmetros.

Durante a aplicação da Simulação de Monte Carlo, os cenários são artificialmente gerados através de um Gerador de Números Aleatórios (GNA), a partir da distribuição de frequência escolhida para a variável de interesse. Um GNA é um programa computacional que gera valores aleatórios independentes e uniformemente distribuídos no intervalo entre 0 e 1 (FREITAS FILHO, 2008). Devido ao rápido avanço na área computacional, a utilização desse método se intensificou, permitindo a execução de simulações complexas em um curto período

de tempo. Atualmente, existem disponíveis comercialmente vários softwares para o processo de simulação como o *@RISK* e *Crystal Ball* (SAMANEZ, 2009).

Leal e Oliveira (2011) realizaram uma revisão bibliográfica das publicações entre 1990 e 2010 referentes ao uso da simulação em gerenciamento de projeto e simulação do prazo de projetos. Segundo os autores, o tempo total de execução do projeto pode ser obtido pela metodologia de Monte Carlo seguindo os seguintes passos:

1. Geram-se valores pseudo-aleatórios dos tempos de execução das atividades, de acordo com a função densidade característica de cada atividade;
2. Encontra-se o caminho crítico (N);
3. Somam-se os tempos das atividades críticas;
4. Realiza-se a iteração da quantidade de cenários desejados;
5. Calcula-se a probabilidade de se atingir uma determinada data-alvo com sucesso.

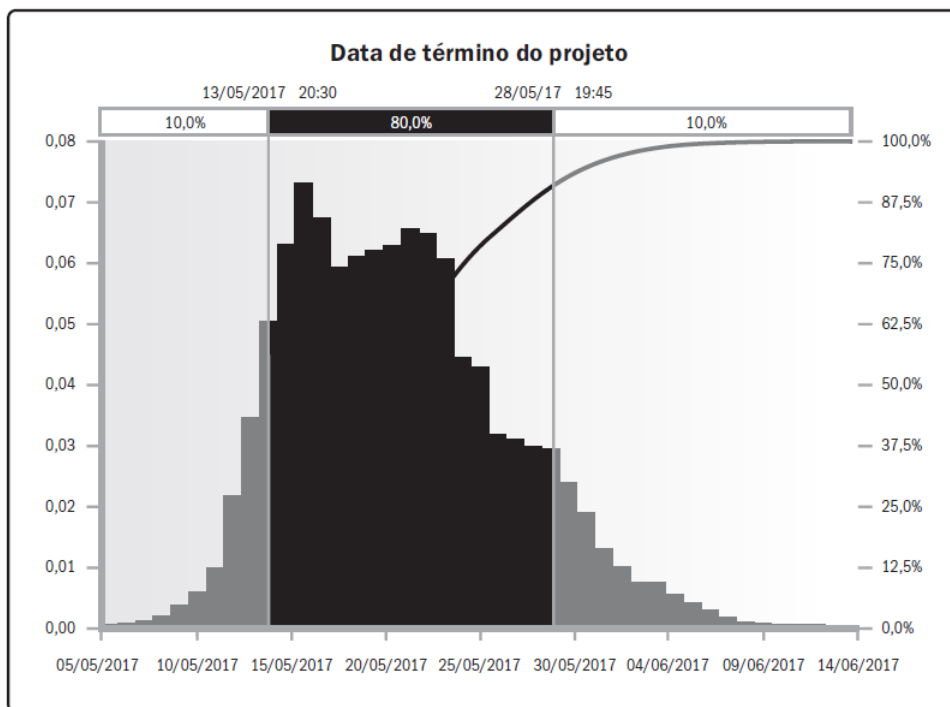


Figura 9: Distribuição de probabilidade de uma data-alvo
Fonte: PMBOK, 2017.

A Figura 9 mostra uma distribuição de probabilidade para um projeto atingir uma determinada data-alvo (ou seja, data de término desejada para o projeto). Neste exemplo, há uma probabilidade de 10% que o projeto seja concluído até 13 de maio, enquanto há uma probabilidade de 90% de conclusão do projeto até 28 de maio.

Método	Complexidade de implementação	Técnica	Distribuição de probabilidade	Recomendação
CPM	Baixa	Determinística	Nenhum	Tarefas repetitivas, pouca variabilidade nas condições de realização
PERT	Média	Probabilística	Normal	Risco de variação moderado, imprevistos podem afetar o projeto
SMC	Alta	Estocástica	Diversas distribuições	Grau de incerteza relevante, alta variabilidade, imprevistos já são esperados

Quadro 1: Comparativo entre métodos de gerenciamento de cronogramas
Fonte: Autoria própria, 2019.

O Quadro 1 sintetiza um comparativo entre os métodos de gerenciamento de prazos abordados. Nota-se que cada qual possui funcionalidades distintas, sendo mais apropriados para casos específicos de projetos. A utilização da Simulação de Monte Carlo em conjunto do método CPM/PERT vem sendo apontada como muito vantajosa em gerenciamento de riscos de prazos, como exposto por Tysiak e Sereseanu (2010), possuindo superioridade no gerenciamento de cronograma com atividades múltiplas, variabilidades, interdependências e correlações. Em contrapartida, Galvão (2005) evidencia que ferramentas estritamente determinísticas como o CPM possuem alta probabilidade de exceder os prazos planejados de entrega.

Por exemplo, Mendes (2017) realizou um estudo de caso junto a uma construtora localizada em Goiânia, GO, no qual possuía mais de 20 anos de experiência no mercado de construção civil, reunindo em seu portfólio obras de usinas hidrelétricas, obras industriais, *shopping centers*, prédios comerciais, entre outros. Após avaliar um cronograma e obras referente a um edifício residencial (duas torres, 30 pavimentos cada) que fora desenvolvido utilizando o método CPM, foi constatado pela Simulação de Monte Carlo que a probabilidade de término até a data de planejamento correspondia a 18,6%. O autor aplicou uma distribuição triangular para a duração das atividades, atribuindo 8,33% para os parâmetros máximo e mínimo.

Outro estudo promovido por Machado e Ferreira (2012), baseado nas estimativas parciais de duração de cada etapa de um projeto de construção realizado por Alencar (2005, p.

161), utilizou a Simulação de Monte Carlo para avaliar a assertividade de um cronograma de obras PERT. Os resultados demonstraram aproximadamente 15% de chances de sucesso em relação ao prazo previsto de 186 dias da obra. Para ilustrar os níveis de incerteza, os autores verificaram que para uma probabilidade de êxito de 85%, o prazo da obra deveria aumentar substancialmente para 236 dias.

Ainda se tratando de cronogramas PERT, Oliveira (2019) desenvolveu um cronograma de obras para um edifício residencial de 15 pavimentos com o auxílio de especialistas de cinco empresas diferentes ligadas a construção civil. Dessa forma, era esperado que o planejamento fosse muito mais preciso quando avaliado pela simulação. Apesar dos resultados encontrados serem relativamente melhores, as probabilidades de conclusão da obra na data prevista ainda representavam alto grau de risco e incerteza: 41,81% na data mais provável apontada pelo método PERT.

Em alguns casos, os resultados de uma simulação podem até inviabilizar o planejamento da duração total do projeto. Como exposto por Nascimento (2007) em seu estudo de caso em que duas empresas trabalhavam em conjunto na construção e montagem de um Turbogenerador, mesclando diversas especialidades de engenharia: processos, mecânica, civil, tubulação, elétrica, instrumentação. Dada a complexidade do empreendimento, o autor aplicou a Simulação de Monte Carlo para o cronograma de planejamento CPM. Verificou-se que era estatisticamente impossível de finalizar o projeto no prazo estimado, retornando 0,4% e 0,9% de probabilidade de sucesso (distribuição normal e triangular, respectivamente).

2.3.3.1 Distribuição triangular

Segundo Machado e Ferreira (2012), uma função que se encaixa muito bem ao modelo de prazos e custos em gestão de projetos é a função de distribuição de densidade triangular, na qual especialistas definem três pontos distintos da distribuição para cada variável de entrada. Assim, para a estimativa dos prazos individuais ou parciais do projeto, determina-se a estimativa de valor mínimo possível, o valor mais provável, e o valor máximo possível. Pode-se perceber semelhanças em relação ao método PERT quanto as suas variáveis de entrada: otimista, mais provável e pessimista.

Apesar da distribuição triangular possuir suas limitações, isto é, as atividades podem ultrapassar o limite máximo definido com o valor de ponderação, esta simplificação é aceitável considerando que a empresa utilize uma equipe gerenciando e monitorando constantemente as

atividades de obra através de indicadores e metas a serem cumpridos mensalmente (MENDES, 2017).

Alternativamente, é possível ainda contingenciar determinados prazos individuais, vinculando-os à probabilidade de ocorrência desse item durante o ciclo de vida do projeto. Machado e Ferreira (2012) também ressaltam que a opinião dos especialistas é importante para minimizar a margem de erro das estimativas. A probabilidade de um determinado valor “x” ocorrer corresponde à área do triângulo destacado representado na figura 10.

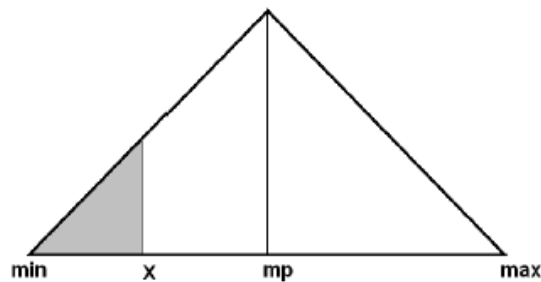


Figura 10: Exemplo de distribuição triangular acumulada
Fonte: MACHADO E FERREIRA, 2012.

2.4 ÍNDICE DE DESVIO DE PRAZO

Os indicadores visam avaliar a eficácia do planejamento de projeto, buscando compreender as relações de causa efeito entre as variáveis que induzem os seus resultados, permitindo o auxílio nas tomadas de decisões (BERNARDES, 2003). Dessa forma, os indicadores têm como objetivo mostrar um retrato rápido da situação do sistema de planejamento (ELEUTÉRIO, 2019).

Costa et al. (2005) destaca o índice Desvio de Prazo como essencial no controle de obras, dado pela razão entre a diferença do prazo efetivo e o prazo previsto, dividido pela duração total prevista (Equação 7). O desvio de prazo pode tanto ser calculado para uma atividade específica quanto para a duração integral de um projeto, sendo então denominado de Desvio de Prazo Global.

(7)

$$DP = \frac{PE - PP}{DT} \times 100$$

Onde:

DP: Desvio de prazo

PE: Prazo efetivo

PP: Prazo previsto

DT: Duração total prevista.

Outro indicador é proposto por Akkari et al. (2006), denominado Avanço Físico, que é a razão entre o percentual de trabalho realizado, pelo percentual de trabalho previsto. Entretanto, é recomendado que este indicador seja analisado em conjunto com o Desvio de Prazo, pois mesmo que haja um avanço físico superior a 1, não significa que a obra está adiantada, tendo em vista que as atividades podem não pertencer ao caminho crítico (ELEUTÉRIO, 2019).

3 METODOLOGIA

Gil (2002) classifica as pesquisas com base em seus objetivos gerais a partir de três grandes grupos: exploratórias, descritivas e explicativas. A finalidade do presente estudo consiste em explorar a viabilidade técnica da utilização do método SMC como elemento de aperfeiçoamento de cronogramas da construção civil, avaliando de forma objetiva sua sinergia com os métodos já consolidados CPM e PERT. Dessa forma, pelo enfoque escolhido estar relacionado a investigação de novas práticas de gerenciamento de projetos, a pesquisa é do tipo exploratória. Estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, torná-lo mais explícito, constituir hipóteses, no aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições (GIL, 2002).

Já em relação aos procedimentos técnicos utilizados para o desenvolvimento do estudo, primeiramente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica referente aos tópicos pertinentes de trabalho, nas áreas de Gerenciamento de Projetos, Gerenciamento de Cronogramas e Probabilidade e Estatística. Esta etapa concentrou-se em descrever as particularidades das três metodologias abordadas (CPM, PERT e SMC), considerando as fases de planejamento, desenvolvimento e monitoramento de cronogramas. Estas informações foram obtidas por meio de fontes primárias nos principais livros, dissertações, artigos científicos e manuais e normas técnicas relacionadas ao assunto. Para uma melhor organização do trabalho, foi elaborado um diagrama das atividades realizadas, demonstrado na figura 11.

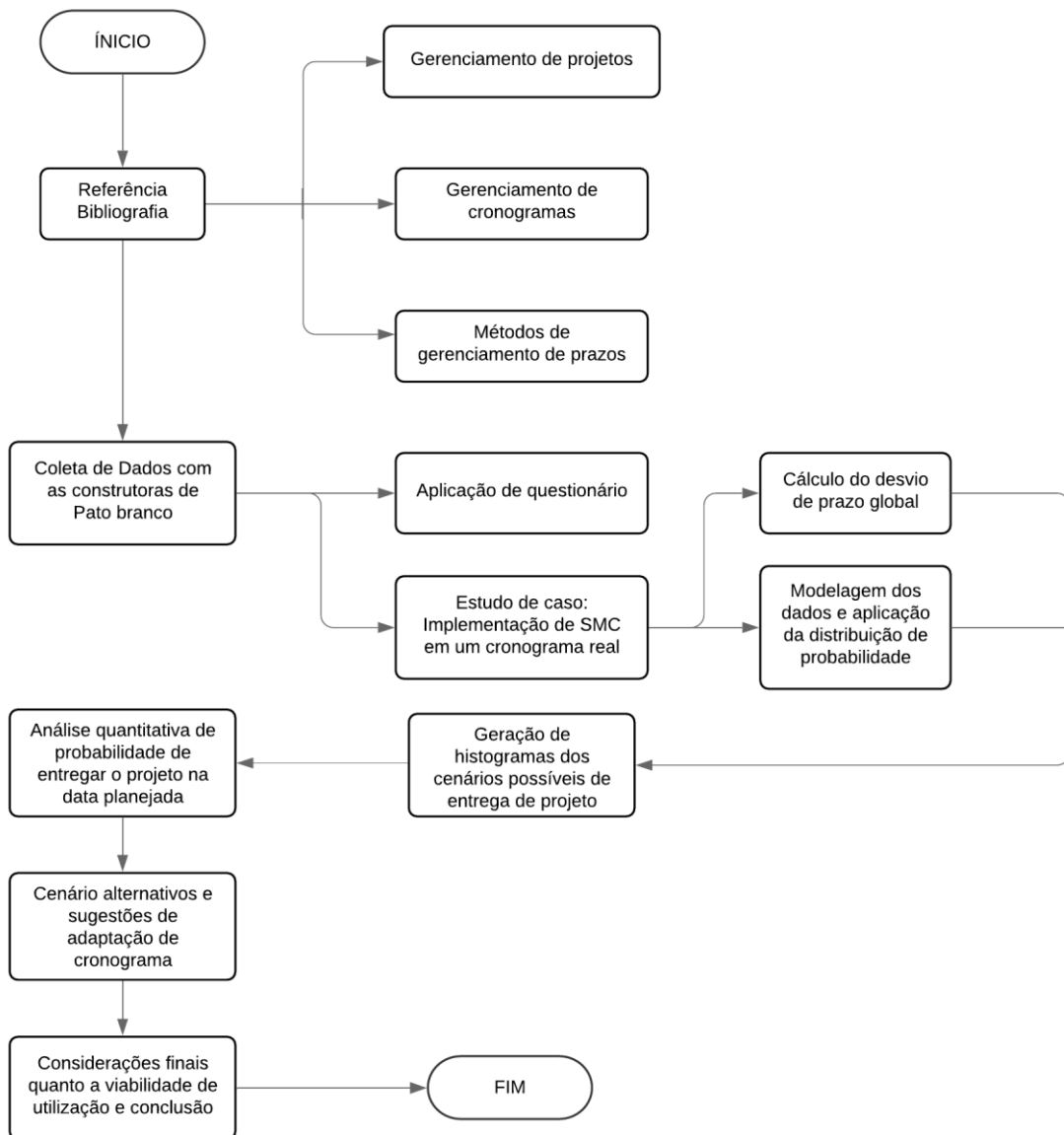


Figura 11: Diagrama de atividades desenvolvidas na pesquisa
Fonte: Autoria própria, 2019.

Para Yin (2004), a pesquisa poderá ser classificada como estudo de caso simples, analisando-se um único caso, ou múltiplo, com a análise de vários casos em um mesmo estudo. Assim, após a fase de revisão bibliográfica, o presente estudo configura-se como estudo de caso, isto é, apresenta caráter unitário ao se analisar uma situação real de gerenciamento de cronogramas, delimitando-se o estudo geograficamente a cidade de Pato Branco, Paraná.

Richardson (1989) também define as pesquisas quanto sua abordagem quantitativa ou qualitativa. Em relação ao primeiro, é um método que se caracteriza pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento dessas através de técnicas estatísticas, desde as mais simples até as mais complexas. Já a abordagem

qualitativa não é traduzida em números, na qual pretende verificar a relação da realidade com o objeto de estudo, obtendo várias interpretações de uma análise indutiva por parte do pesquisador. Portanto, a abordagem desta pesquisa é classificada como qualitativa e quantitativa, pois divide-se na aplicação de um levantamento das principais práticas e opiniões de engenheiros responsáveis pelo desenvolvimento e controle de cronogramas de obras, bem como a análise de dados de uma amostra real de cronograma cedido por uma das construtoras entrevistadas.

Para isso, realizou-se a coleta de dados em dois grupos distintos. O primeiro, referente ao levantamento de perfil das construtoras, foi obtido a partir de um questionário *online* (APÊNDICE A), abordando perguntas sobre o tipo e porte de obras realizadas, a utilização de ferramentas de gestão de cronogramas, isto é, quais e com que frequência são empregadas, e a visão pessoal dos engenheiros quanto as vantagens e desvantagens destas ferramentas.

O segundo grupo de dados abrange as datas de tarefas de um de cronograma de obras real, representado pela linha base de planejamento das etapas de construção e o prazo de entrega planejado. Dessa forma, o cronograma foi avaliado quantitativamente quanto ao desvio de prazo respectivo, ou seja, se a obra foi entregue antes ou depois do prazo planejado.

Posteriormente, implementou-se a metodologia de Simulação de Monte Carlo com o auxílio dos softwares *Microsoft Project*, *Excel* e *@RISK 7.6* (Licença estudantil fornecida pela empresa detentora *Palisade*), adaptando-se novos valores de entrada para a duração das atividades de trabalho planejadas. Assim, o cronograma base foi remodelado e testado para a geração de 2.000 cenários aleatórios conforme os parâmetros de distribuição triangular.

Por fim, os resultados possibilitaram gerar os gráficos de confrontação entre os cronogramas antes e depois da implementação do método SMC. A principal variável estudada foi a probabilidade de entregar os projetos dentro do prazo, isto é, de concluir a obra até a data planejada inicialmente pelo método CPM. Adicionalmente, foi proposto um cenário alternativo para o cronograma, no qual foram feitas adaptações no prazo de uma atividade crítica com o objetivo de diminuir os níveis de risco e incertezas de projeto.

O estudo, então, reuniu todos estes insumos na seção de discussão de resultados, contribuindo para as principais conclusões deste trabalho. É importante ressaltar o caráter único da utilização do estudo de caso como procedimento técnico de pesquisa, no qual deve ser observado em seu próprio contexto e premissas singulares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 LEVANTAMENTO DAS PRINCIPAIS PRÁTICAS DE USO DE CRONOGRAMAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Um questionário eletrônico foi aplicado, entre os meses de março e abril de 2020, a fim de realizar o levantamento das práticas de uso de cronogramas de obras. Foram entrevistados engenheiros civis com experiência na área de gerenciamento de obras, sendo em alguns casos os principais responsáveis pelo desenvolvimento e acompanhamento de cronogramas dentro de suas empresas. O tamanho da amostra de profissionais entrevistados se deu pela realidade do setor de construção no município de Pato Branco. Assim, o levantamento obteve um total de 9 respostas de profissionais, já pré-selecionados e com perfil relevante a pesquisa, contribuindo para uma amostra representativa do segmento.

A pesquisa se concentrou na investigação de 6 questões, distribuídas nos aspectos fundamentais das práticas de cronogramas a seguir. As questões do intervalo Q1 a Q5 foram apresentadas aos participantes sob a forma de múltipla escolha, enquanto a questão Q6 coletou de forma descritiva as opiniões dos engenheiros. O questionário completo se encontra no Apêndice A.

- Q1: Frequência de utilização
- Q2: Banco de dados
- Q3: Métodos de planejamento e desenvolvimento
- Q4: Ferramentas de gerenciamento
- Q5: Porte de obra
- Q6: Vantagens e desvantagens

Em relação a Q1, os engenheiros selecionaram a partir de uma escala crescente de 0 a 4 a frequência com que estavam habituados a implementar cronogramas em suas obras, onde 0 representa “nunca utilizo cronogramas”, 1 “quase nunca utilizo”, 2 “utilizo pouco”, 3 “utilizo na maioria dos casos” e 4 “sempre utilizo”, respectivamente. O resultado está descrito no Gráfico 1.

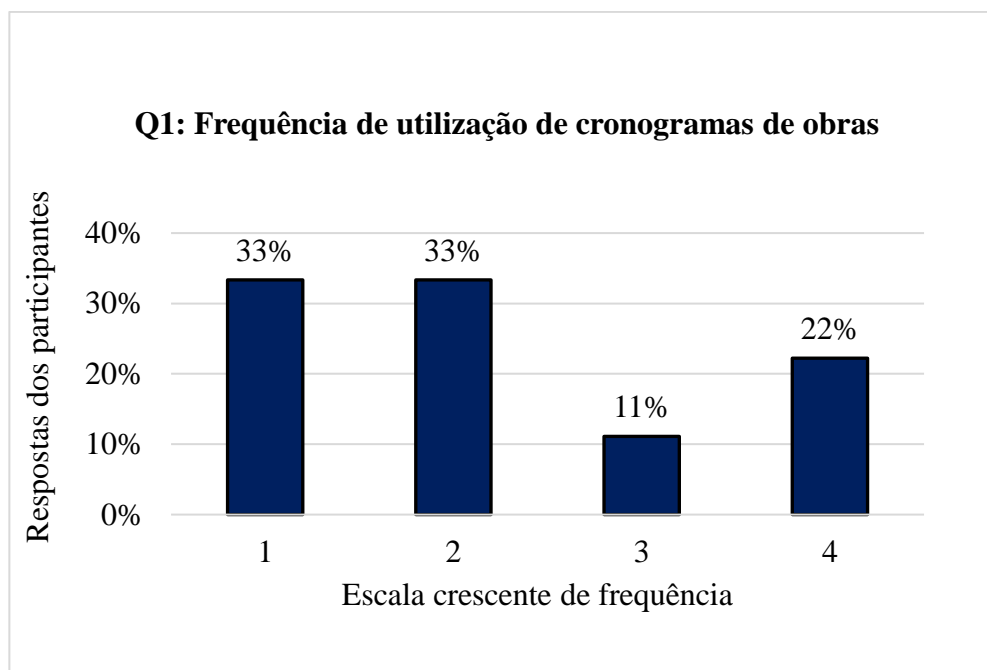


Gráfico 1: Frequência de utilização de cronogramas de obras
Fonte: Autoria própria, 2020.

Apenas 22% dos engenheiros declararam sempre utilizarem cronogramas em suas obras, sendo uma prática recorrente de gerenciamento de projetos. A maior parte dos participantes, isto é, dois terços dos engenheiros afirmaram que quase nunca ou pouco utilizam cronogramas no cotidiano de suas obras, como pode ser visto nos grupos 1 e 2.

As motivações dos profissionais para a escassa utilização dos cronogramas estão descritas em mais detalhes em Q6, no entanto, o resultado de Q1 já apresenta indicativos que corroboram aos dados apresentados na seção 1 deste estudo. A baixa frequência de utilização de cronogramas pode ser um dos fatores responsáveis pelo não cumprimento de prazos de projetos, como também é apontado por 60% dos profissionais que responderam à pesquisa do *chapters* brasileiros do PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI) em 2009.

Em seguida, a questão Q2 investigou quais são os principais bancos de dados utilizados como insumos pelos engenheiros no momento de planejamento de cronogramas, especificamente na etapa de estimativas de prazos. Como alternativa, foram apresentadas três opções: experiência, tabelas padronizadas TCPO e SINAPI, ou dados históricos e indicadores próprios. Os resultados de Q2 são apresentados abaixo na Tabela 2.

Tabela 1: Banco de dados utilizados em estimativas de prazos

Banco de dados	Respostas	Frequência
Experiência, não utilizamos banco de dados específico	4	44%
Possuímos dados históricos e indicadores próprios das equipes	4	44%
Utilizamos tabelas da TCPO, SINAPI e similares	3	33%

Fonte: Autoria própria, 2020.

De maneira geral, o resultado de Q2 se mostrou distribuído de maneira uniforme, com maior destaque para as alternativas relacionadas a experiência e dados históricos próprios. A soma das respostas excede 100%, pois alguns participantes selecionaram mais de uma alternativa.

Embora não seja considerado um aspecto inteiramente negativo, utilizar apenas a experiência para o planejamento de cronogramas pode acarretar em desvios de prazos mais ou menos severos, a depender do grau de conhecimento e familiaridade do engenheiro com os processos construtivos particulares da obra.

Quando experiências prévias são documentadas de forma consolidada, é possível catalogar dados históricos das equipes de produção, indicadores que são muito mais próximos da realidade e, portanto, a prática mais recomendada para o planejamento de cronogramas de obras. Segundo o levantamento, 44% das respostas apontaram utilizar deste tipo de banco de dados.

Em menor número, 33% dos profissionais apontaram o uso de tabelas de referências como TCPO, SINAPI e similares como sendo seu principal banco de dados. Como exposto na seção 2.2.2.1 deste trabalho, muitas críticas são apresentadas a estas tabelas por representarem coeficientes unitários médios de obras espalhadas pelo território brasileiro. Estes parâmetros podem estar descolados da realidade, uma vez que pequenas variações nos mesmos podem impactar o prazo final de obra.

Em relação a Q3, os engenheiros foram questionados em quais métodos de gerenciamento de cronogramas estão mais habituados a trabalhar. As alternativas consistiram em 6 opções, desde os métodos CPM, PERT e SMC até apenas a experiência, sem nenhum método específico. O resultado de Q3 está descrito na Tabela 3 e Gráfico 2.

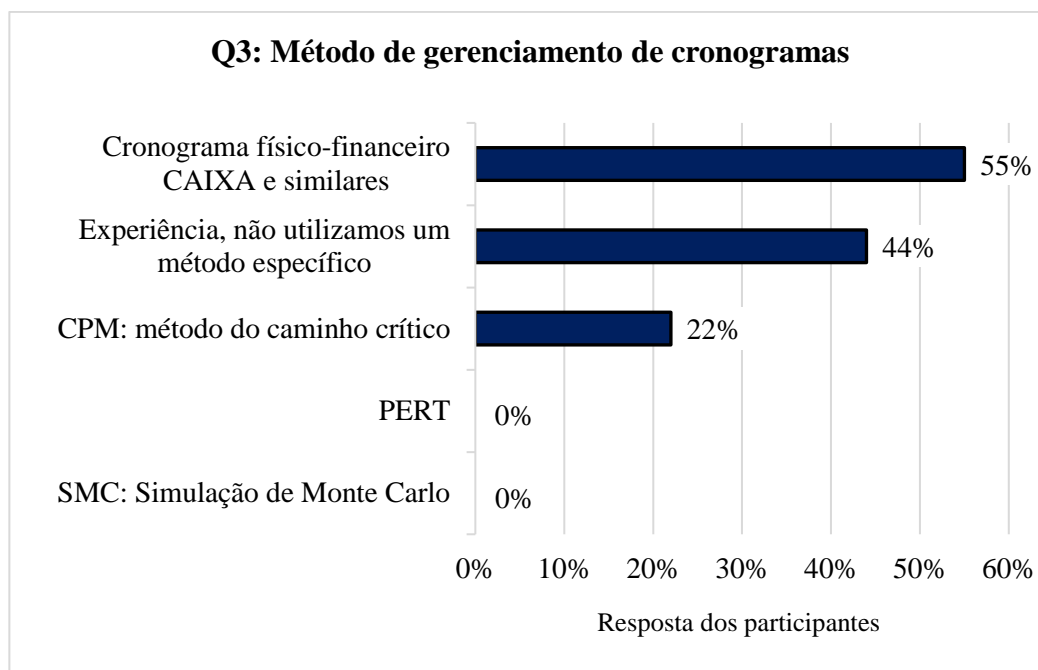


Gráfico 2: Métodos mais utilizados em gerenciamento de cronogramas
 Fonte: Autoria própria, 2020.

O destaque se deu pela escolha do cronograma físico-financeiro CAIXA e similares, contando com mais da metade das respostas. Alguns fatores podem explicar a predileção pelo método, especialmente por este modelo, em muitos casos, ser um pré-requisito para financiamentos imobiliários. O cronograma físico-financeiro CAIXA apresenta diretrizes bem definidas, tendo como principal função ser o instrumento de controle de evolução da obra. Porcentagens mínimas de conclusão são exigidas em determinadas etapas da obra, caso estes marcos não sejam aferidos pelo agente de fiscalização, os recursos financeiros são retidos até que a realidade da obra se adeque ao planejamento.

Em segundo lugar, 44% dos engenheiros alegaram utilizar apenas a experiência, isto é, não utilizam nenhum método específico para o gerenciamento dos cronogramas. Diferentemente de Q2, onde a experiência é um fator importante para o planejamento e estimativa de prazos, em Q3 a presença de métodos de gerenciamento está intimamente relacionada com o andamento satisfatório da obra. Ao utilizar exclusivamente sua experiência, os profissionais podem prejudicar o cumprimento de prazos no momento em que ocorrem imprevistos e riscos não mensurados.

Em último lugar, apenas 22% confirmaram utilizar o CPM como sendo seu principal método de gerenciamento de cronogramas. O método permite um maior monitoramento da evolução da obra, como exposto na seção 2.3.1 deste trabalho. Entretanto, por se tratar de um modelo determinístico, isto é, os prazos são datas fixas, pode apresentar riscos relacionados a

tarefas atreladas a incerteza de prazos. Por fim, não foram contabilizadas respostas para os métodos PERT e SMC, confirmando que estas alternativas ainda são pouco difundidas na construção civil.

Em seguida, Q4 investigou quais ferramentas são mais utilizadas pelos engenheiros responsáveis pelo gerenciamento de cronogramas. Nesta questão, também foi permitido que os participantes escolhessem mais de uma alternativa. As respostas coletadas são apresentadas no Gráfico 3.

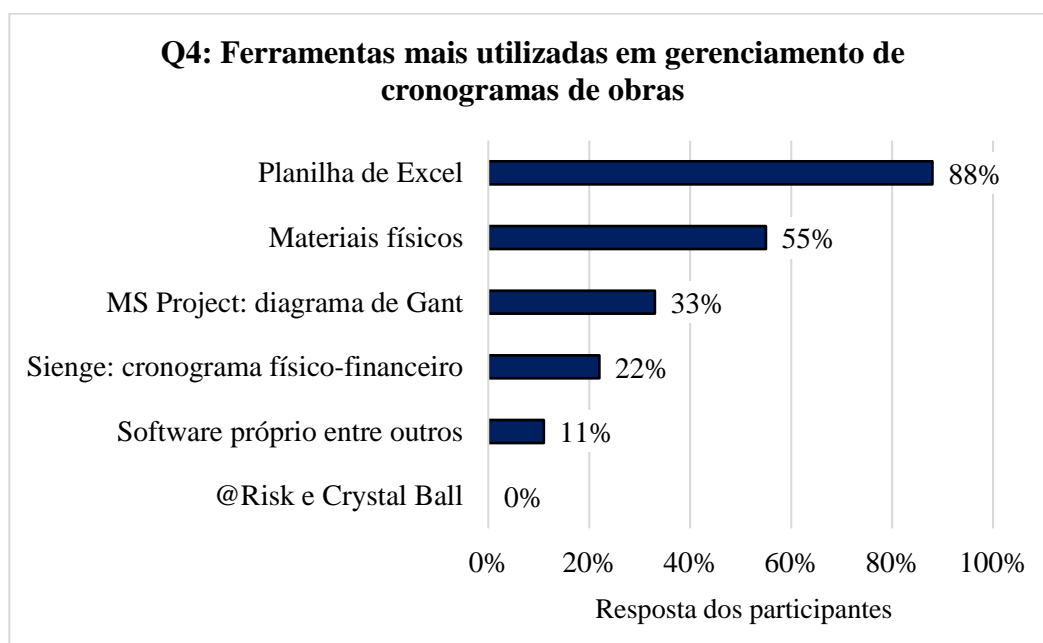


Gráfico 3: Ferramentas mais utilizadas em gerenciamento de cronogramas
Fonte: Autoria própria, 2020.

Uma parte considerável dos entrevistados alegou utilizar planilhas de *Excel* como sendo uma de suas ferramentas de controle e gerenciamento de cronogramas. Uma das razões que explicam o resultado é a característica desta ferramenta ser de fácil acesso, versátil e já estar bastante incorporada no cotidiano de trabalho dos engenheiros.

Em segundo lugar, 55% apontaram também utilizarem materiais físicos como cartazes, quadro branco, *post-its*, entre outros como uma de suas ferramentas. Os materiais físicos são importantes ferramentas complementares que facilitam a visualização de prazos das etapas de obras. A utilização destas ferramentas em canteiro torna a comunicação mais efetiva e, conseqüentemente, melhora o entendimento das equipes quanto as metas e frentes de serviço.

Em menor número, os profissionais afirmaram a preferência pelo uso de *softwares* específicos para o gerenciamento de projetos: 33% utilizam *MS Project*; 22% *Sienge* e 11% possuem *software* próprio. Estas ferramentas possuem certas vantagens quando comparadas

com as planilhas de *Excel*, uma vez que foram desenvolvidas especialmente para atender as necessidades de gerenciamento de projetos. Não foram contabilizadas respostas quanto ao uso das aplicações estatísticas *@Risk* e *Crystal Ball*, o que está naturalmente relacionado a não utilização dos métodos PERT e SMC pelos engenheiros, apontado no resultado de Q3.

Outro aspecto investigado neste levantamento foi a percepção dos engenheiros no seguinte quesito: a partir de qual porte de obra pode ser considerado vantajoso o uso de cronogramas? Três alternativas foram apresentadas, divididas entre pequeno, médio e grande porte de obras da construção civil. Os resultados de Q5 estão descritos na tabela 2.

Tabela 2: Percepção da utilização de cronogramas em relação ao porte de obras

Porte de obra	Respostas
Toda e qualquer obra, desde pequeno porte como residências de 150m ² .	78%
Obras de médio porte como salas comerciais, galpões e edifícios com até 5 pavimentos.	11%
Obras de grande porte, edifícios com mais de 10 pavimentos, plantas industriais, hospitais, escolas e etc.	11%

Fonte: Aatoria própria, 2020.

A maior parte dos engenheiros reconheceu que a utilização de cronogramas se torna vantajosa independentemente do tamanho do empreendimento. Dos 9 engenheiros que participaram deste levantamento, 7 acreditam que seja prudente a adoção das práticas de gerenciamento de cronogramas para toda e qualquer obra, mesmo para as de pequeno porte, representando 78% das respostas. A perspectiva dos engenheiros está de acordo com os principais termos mencionados como positivos na utilização de cronogramas de obras (Q6).

Por fim, o último aspecto levantado em Q6 foi quanto a opinião particular dos engenheiros em relação às vantagens e desvantagens na utilização de cronogramas. A partir dos comentários qualitativos, foram coletados os principais termos mais mencionados em vantagens e desvantagens, organizados a seguir no quadro 2. De maneira geral, os entrevistados destacaram as vantagens no uso de cronogramas em detrimento das desvantagens. Os depoimentos anônimos podem ser encontrados na íntegra no Apêndice B deste trabalho.

Vantagens	Desvantagens
Previsibilidade	Demanda tempo
Controle de prazos	Dificuldade de implementação
Gestão de recursos	Atualização diária
Economia	Aplicação
Assertividade	Falta de mão de obra especializada
Otimização	
Priorização	
Agilidade	

Quadro 2: Percepção das vantagens e desvantagens do uso de cronogramas de obras
Fonte: Autoria própria, 2020.

A maior parte dos engenheiros reconheceu diversas vantagens quanto ao uso dos cronogramas de obras, representando 89% de respostas favoráveis no total. O item mais mencionado pelos profissionais foi a característica de previsibilidade e controle dos prazos e custos de obra, que é conferida naturalmente pelo monitoramento de cronogramas de obras.

Outros termos citados, que podem ser entendidos como consequência da maior previsibilidade e controle, foram respectivamente: economia, assertividade e priorização. Alguns participantes relataram ainda que, apesar do esforço técnico requerido, cronogramas bem desenvolvidos conferem maior agilidade no cumprimento das tarefas em obra. Para ilustrar a percepção dos engenheiros, a seguir é exposto um dos relatos completos:

“É essencial a utilização de cronogramas para que se possa organizar e prevenir riscos com a sequência executiva, organizar o fluxo de suprimentos, distribuição das prioridades e alocação da mão de obra e também a facilidade de traçar planos alternativos quando necessário” (Relato anônimo, 2020).

No entanto, quando comparados os resultados de Q6 e Q1 é possível perceber o contraste entre a percepção pessoal dos engenheiros versus a realidade do cotidiano. Como exposto em Q1, dois terços dos engenheiros afirmaram que quase nunca ou pouco utilizam cronograma de obras. Mesmo cientes das vantagens no uso de cronogramas, isto não se traduz na frequência de aplicação por parte das construtoras na prática.

O entendimento deste fenômeno se torna mais claro quando são analisadas as desvantagens no uso de cronogramas de obras, onde 56% dos profissionais relataram aspectos desfavoráveis. A principal queixa dos engenheiros está relacionada ao fato de que os cronogramas de obras demandam um tempo considerável por parte do responsável técnico. Um dos participantes afirmou que em certos casos, a prática isolada de gerenciamento de cronogramas pode ser tornar um desperdício de trabalho técnico, como demonstrado pelo relato a seguir:

“A desvantagem principal é que infelizmente não são todos os profissionais que estão acostumados a trabalhar com cronograma na obra, fazendo as coisas "no grito" de acordo com sua experiência. Em ocasiões onde não é possível contar com um profissional responsável pela execução do cronograma, acaba sendo um desperdício de trabalho técnico, e tempo é dinheiro” (Relato anônimo, 2020).

Além destas características mencionadas, outro fator bastante citado foi a dificuldade de implementação de cronogramas, bem como a aplicação prática em canteiro. Especialmente quando não existe a cultura de gestão de prazos na empresa, manter uma atualização diária dos cronogramas pode ser uma tarefa onerosa segundo a percepção dos engenheiros.

4.2 ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DE CRONOGRAMA DE OBRAS REAL

4.2.1 Dados e descrição do estudo de caso

A segunda etapa deste trabalho consistiu no estudo de caso de um cronograma de obra real referente a um edifício de 8 pavimentos, médio padrão, com área construída de 3747,75 m², localizado no município de Pato Branco, Paraná. O cronograma foi elaborado pelo engenheiro responsável pelo gerenciamento de projetos da construtora. A metodologia utilizada foi o Método do Caminho Crítico, enquanto que as ferramentas empregadas foram os *softwares Excel e Microsoft Project*.

A planilha principal apresenta o planejamento executivo de todas as etapas da obra e suas respectivas estimativas de duração, suas interdependências e datas de início e término de cada tarefa, como pode ser visto parcialmente na figura 12. O cronograma de obra completo contendo as 166 atividades previstas se encontra no Apêndice C deste trabalho.

Nome da tarefa	Duração	Início	Término
EDIFÍCIO A	648 dias	02/05/17	09/12/19
SERVIÇOS PRELIMINARES	8 dias	02/05/17	11/05/17
BARRACO PARA VESTIÁRIO E DEPÓSITOS	7 dias	02/05/17	10/05/17
TÉRMINO DA TERRAPLENAGEM	1 dia	04/05/17	04/05/17
PORTÃO DA OBRA	1 dia	08/05/17	08/05/17
LOCAÇÃO COM TÁBUAS CORRIDAS	3 dias	09/05/17	11/05/17
ESTRUTURA	409,88 dias	15/05/17	16/01/19
FUNDAÇÃO	85 dias	15/05/17	08/09/17
ESCAVAÇÃO MECANIZADA	4 dias	19/06/17	22/06/17
ESTACA FRANKI E SAPATAS	35 dias	15/05/17	30/06/17
BLOCO DE COROAMENTO	36 dias	21/06/17	09/08/17
VIGAS BALDRAMES E PILARES	16 dias	10/08/17	31/08/17
ATERRO INTERNO COM APILOAMENTO	6 dias	01/09/17	08/09/17
SUPERESTRUTURA	330,88 dias	01/09/17	16/01/19
MURO DE CONTENÇÃO E PILARES	15 dias	01/09/17	21/09/17
LAJE MEZANINO	16 dias	22/09/17	13/10/17
LAJE G1, COM POLIMENTO	40 dias	16/10/17	08/12/17
JOGO DE PILARES DO G1	10 dias	11/12/17	22/12/17
LAJE G2, COM POLIMENTO	30 dias	08/01/18	20/02/18
JOGO DE PILARES DO G2	10 dias	21/02/18	06/03/18
LAJE 1° PAVIMENTO	30 dias	07/03/18	18/04/18
LAJE 2° PAVIMENTO (TIPO 01)	12 dias	19/04/18	04/05/18
LAJE 3° PAVIMENTO (TIPO 02)	15 dias	24/05/18	14/06/18
LAJE 4° PAVIMENTO (TIPO 03)	17 dias	28/05/18	20/06/18
LAJE 5° PAVIMENTO (TIPO 04)	17 dias	21/06/18	13/07/18
LAJE 6° PAVIMENTO (TIPO 05)	15 dias	16/07/18	03/08/18
LAJE 7° PAVIMENTO (TIPO 06)	17 dias	06/08/18	28/08/18
LAJE 8° PAVIMENTO (TIPO 07)	17 dias	29/08/18	20/09/18
LAJE COBERTURA	17 dias	21/09/18	16/10/18
LAJE DO BARRILETE E CASA DE MÁQUINAS	10 dias	17/10/18	30/10/18

Figura 12: Cronograma executivo parcial do edifício A
Fonte: Construtora A, 2020.

É importante ressaltar que tanto o cronograma executivo, quanto o cronograma físico que foram disponibilizados, tiveram seu andamento real atualizado apenas até o mês de agosto de 2019. A partir destes dados, destacam-se as seguintes métricas: duração total de obra estimada em 648 dias e data de término em 09/12/2019. Segundo o engenheiro responsável, as estimativas foram baseadas em cálculos que utilizam os dados históricos da produtividade das equipes de trabalho, além da própria experiência prática em obras passadas.

4.2.2 Avaliação do desvio de prazo global

Apesar da data calculada apontar para entrega da obra em dezembro de 2019, o engenheiro também afirmou que a construtora considera uma boa prática o acréscimo de no mínimo um mês além da data de término estimada. Esta medida tem o objetivo de mitigar eventuais riscos ou imprevistos não mensurados, sendo também chamada de *buffer* de projeto.

Dessa forma, a data de término planejada final ficou fixada em 31/01/2020. No entanto, mesmo com a adoção da extensão do prazo estimado, a conclusão de obra se deu efetivamente apenas no dia 28/02/2020 (prazo efetivo), acumulando um mês de atraso.

De posse destes dados, primeiramente foram reajustados os itens Prazo Estimado e Duração Estimada com o incremento do *buffer* (39 dias). Em seguida, foi calculado o desvio de prazo global da obra utilizando a equação 7, descrita previamente no item 2.4. A tabela 3 resume os resultados obtidos.

Tabela 3: Cálculo de desvio de prazo global da obra

Prazo Previsto	09/12/2019
Duração Total Prevista	648 dias
Prazo Previsto + buffer	31/01/2020
Duração Total Prevista + buffer	687 dias
Prazo Efetivo	28/02/2020
Desvio de Prazo	4,08%

Fonte: Autoria própria, 2020.

Portanto, observa-se que a execução do edifício apresentou um desvio de prazo global positivo de 4,08%. Este indicador representa de forma objetiva o quanto o cenário real excedeu o planejamento definido pelo cronograma de obras. As razões específicas que justificam o atraso na conclusão efetiva do edifício fogem do escopo deste estudo de caso.

Todavia, é possível estabelecer hipóteses em relação as consequências do desvio de prazo encontrado. O principal impacto esperado é no orçamento efetivo da obra, uma vez que o mês adicional referente ao atraso está diretamente ligado ao acréscimo de novos custos diretos e indiretos, especialmente nas despesas extras relacionadas a mão de obra e horas trabalhadas.

Ainda assim, é difícil concluir se o desvio de prazo de 4,08% foi suficiente ou não para deslocar o orçamento efetivo do planejado, levando em consideração que é também comum serem adotados incrementos como margem de segurança no planejamento financeiro.

4.2.3 Implementação da Simulação de Monte Carlo

A partir do cronograma de obras executivo, foi realizada a modelagem de dados necessária para implementação da Simulação de Monte Carlo. É importante ressaltar que para esta etapa do estudo de caso não foram considerados a extensão de prazo *buffer*, apenas as durações previamente estimadas.

Primeiramente o arquivo mpp. foi importado para o *@Risk*, contendo o cronograma elaborado em *Microsoft Project*. O *@Risk* funciona como uma aplicação *add-in*, isto é, tem como base o *software Excel* e adiciona ferramentas complementares. Em seguida, é necessário que sejam identificados quais são os dados de entrada (*inputs*) e os dados de saída (*outputs*) que serão analisados na Simulação de Monte Carlo. Neste sentido, os *inputs* pertinentes são as durações estimadas de cada atividade. A medida que estes dados de entrada são alterados de forma aleatória, conseqüentemente, também sofrerão mudanças os dados de saída, representados pela duração total de obra e a data de término.

A relação entre *inputs* e *outputs* depende da distribuição de probabilidade escolhida para representar os riscos e imprevistos do projeto. Neste estudo de caso optou-se pela aplicação da distribuição triangular, muito utilizada para análise de risco de projetos na construção civil. Dessa forma, foram definidos os valores 10% e 15% como parâmetros de duração mínima e máxima, respectivamente. A figura 13 ilustra a inserção dos parâmetros no *@Risk*.

Figura 13 mostra a janela "Tabela de entrada de parâmetros" do software @Risk. O título da janela é "Tabela de entrada de parâmetros" com um ícone de tabela e um botão de fechar. O conteúdo da janela é dividido em seções:

- Atribuir incerteza a:** Um campo de texto rotulado "Campo" com o valor "Duração" selecionado em uma lista suspensa.
- Distribuição a ser usada:**
 - Um campo de texto rotulado "Tipo" com o valor "Triang(Mínimo;Mais Provável;Máximo)" selecionado em uma lista suspensa.
 - Dois campos de entrada de texto: "Mín." com o valor "10%" e "Máx." com o valor "15%".
- Criar tabela de entrada para:**
 - Dois botões de opção: "Todas as tarefas" (desselecionado) e "Tarefas selecionadas" (selecionado).

Figura 13: Parâmetros da distribuição triangular @Risk
Fonte: Autoria Própria, 2020.

Por exemplo, para a atividade “Portão de Obra” em Serviços Preliminares que possui uma duração estimada de 1 dia, ao se aplicar a distribuição triangular, passará a ter um intervalo de durações possíveis que variam desde 0,9 dia (duração mínima) a 1,15 dia (duração máxima). A figura 14 demonstra o intervalo da duração de cada atividade. É importante ressaltar que, idealmente, a escolha dos parâmetros seja feita a partir da consulta de especialista. Todavia, dadas as simplificações e limitações deste estudo de caso, a escolha da distribuição triangular,

bem como a consideração da complexidade do empreendimento, torna justificável e conservadora a adoção dos parâmetros utilizados.

ID	Nome da tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras	Duração Mínimo	Mais Provável	Duração Máximo
1	EDIFÍCIO	648 dias	2/5/2017	9/12/2019				
2	SERVIÇOS PRELIMINARES	8 dias	2/5/2017	11/5/2017				
3	BARRACO PARA VESTIÁRIO E DEPÓSITO	7 dias	2/5/2017	10/5/2017		6,3	7	8,05
4	TÉRMINO DA TERRAPLENAGEM	1 dia	4/5/2017	4/5/2017		0,9	1	1,15
5	PORTÃO DA OBRA	1 dia	8/5/2017	8/5/2017		0,9	1	1,15
6	LOCAÇÃO COM TÁBUAS CORRIDAS	3 dias	9/5/2017	11/5/2017	3II+5 dias	2,7	3	3,45
7	ESTRUTURA	409,88 dias	15/5/2017	16/1/2019				
8	FUNDAÇÃO	85 dias	15/5/2017	8/9/2017				
9	ESCAVAÇÃO MECANIZADA	4 dias	19/6/2017	22/6/2017	10II+25 dias	3,6	4	4,6
10	ESTACA FRANKI E SAPATAS	35 dias	15/5/2017	30/6/2017	6TI+1 dia	31,5	35	40,25
11	BLOCO DE COROAMENTO	36 dias	21/6/2017	9/8/2017	9II+2 dias	32,4	36	41,4
12	VIGAS BALDRAMES E PILARES	16 dias	10/8/2017	31/8/2017	11	14,4	16	18,4
13	ATERRO INTERNO COM APILOAM	6 dias	1/9/2017	8/9/2017	12	5,4	6	6,9
14	SUPERESTRUTURA	330,88 dias	1/9/2017	16/1/2019				

Figura 14: Aplicação de modelagem estocástica @Risk
Fonte: Autoria própria, 2020.

Concluída a modelagem dos dados e selecionada a distribuição de probabilidade, foi feita a configuração da simulação como pode ser visto na figura 15. Uma das vantagens de se utilizar o @Risk é que a aplicação estabelece uma interligação em tempo real com o *Microsoft Project*, ou seja, utiliza o motor de cálculo de um *software* dedicado a gerenciamento de projetos como suporte para a simulação.

Figura 15: Configuração da simulação @Risk
Fonte: Autoria própria, 2020

4.2.4 Análise do cronograma CPM quanto a probabilidade de sucesso

Após os passos anteriores, foi possível realizar a Simulação de Monte Carlo, a qual gerou 2000 cenários aleatórios possíveis de projeto. Assim, foram obtidos os histogramas da distribuição triangular tanto para a duração total quanto para a data de conclusão da obra.

Segundo a simulação, a duração mínima da obra estaria estimada em 640,41 dias, enquanto que a duração média foi de 650,46 dias e máxima de 660,87 dias. Em relação as datas de conclusão, foi observado um intervalo entre 28/11/2019 e 26/12/2019, sendo a data de conclusão média em 12/12/2019. Os resultados são apresentados nas figuras 16 e 17.

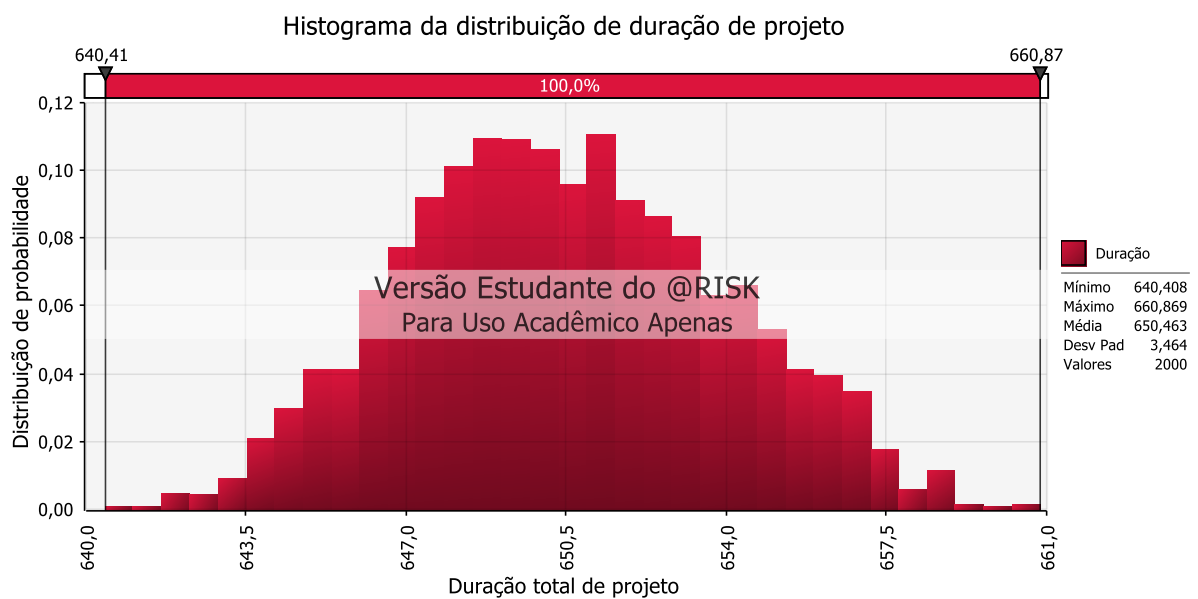


Figura 16: Histograma da distribuição de duração de projeto
Fonte: Autoria própria, 2020.

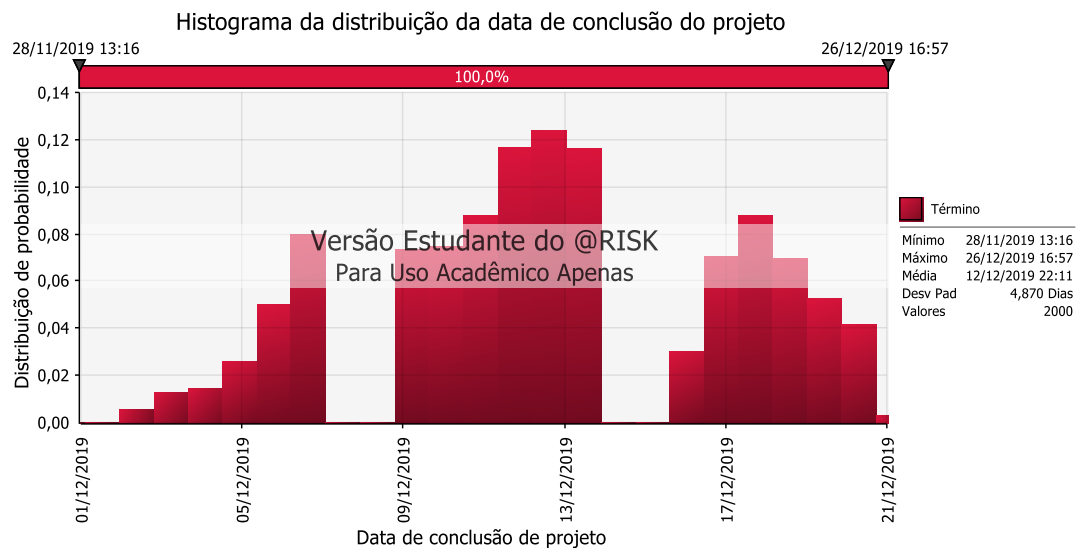


Figura 17: Histograma da distribuição da data de conclusão do projeto
Fonte: Autoria própria, 2020.

Comparando estes intervalos de projeto em relação a duração e data de conclusão planejadas, é possível determinar qual seria a probabilidade de satisfazer o cronograma executivo. Através do gráfico interativo de probabilidade acumulada, conclui-se que existe apenas 25,7% de expectativa que a obra seja concluída com uma duração total inferior a 648 dias. Naturalmente, a mesma probabilidade de êxito também corresponde a uma data de término de projeto até o dia 09/12/2019. Em outras palavras, existe um risco de 74,4% da obra exceder o planejamento. Os resultados são ilustrados graficamente nas figuras 18 e 19.

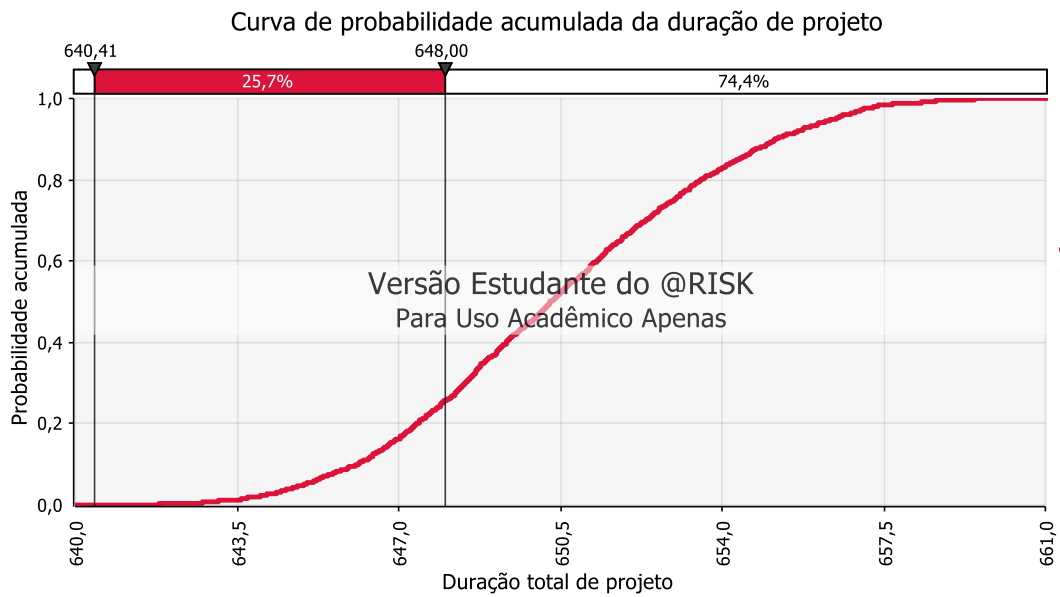


Figura 18: Curva de probabilidade acumulada da duração de projeto
Fonte: Autoria própria, 2020.

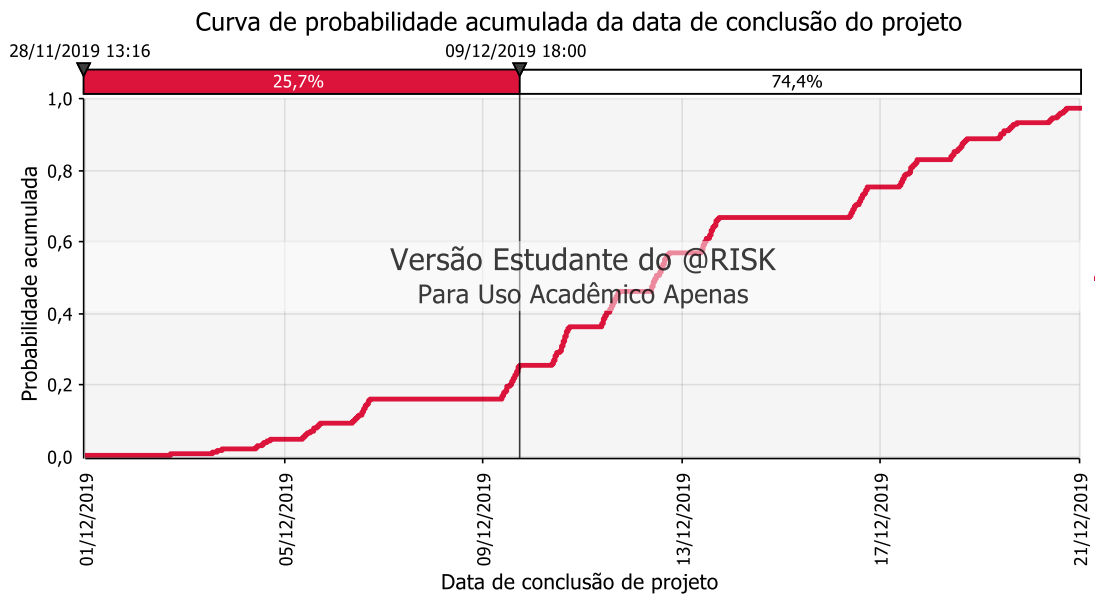


Figura 19: Curva de probabilidade acumulada da data de conclusão de projeto
Fonte: Autoria própria, 2020.

A fim de conferir maior margem de segurança e previsibilidade ao projeto, o responsável pelo gerenciamento de cronogramas pode utilizar as ferramentas de análise do @Risk para definir prazos com uma maior probabilidade êxito, isto é, mitigando os riscos de atraso na obra. Dessa forma, os gráficos foram ajustados para encontrar qual seria a duração e data de término da obra referente a uma probabilidade acumulada de 95%. Os resultados demonstram que é esperado uma duração total da obra de até 657 dias aproximadamente, sendo a data de término em 20/12/2019, como pode ser visto nas figuras 20 e 21.

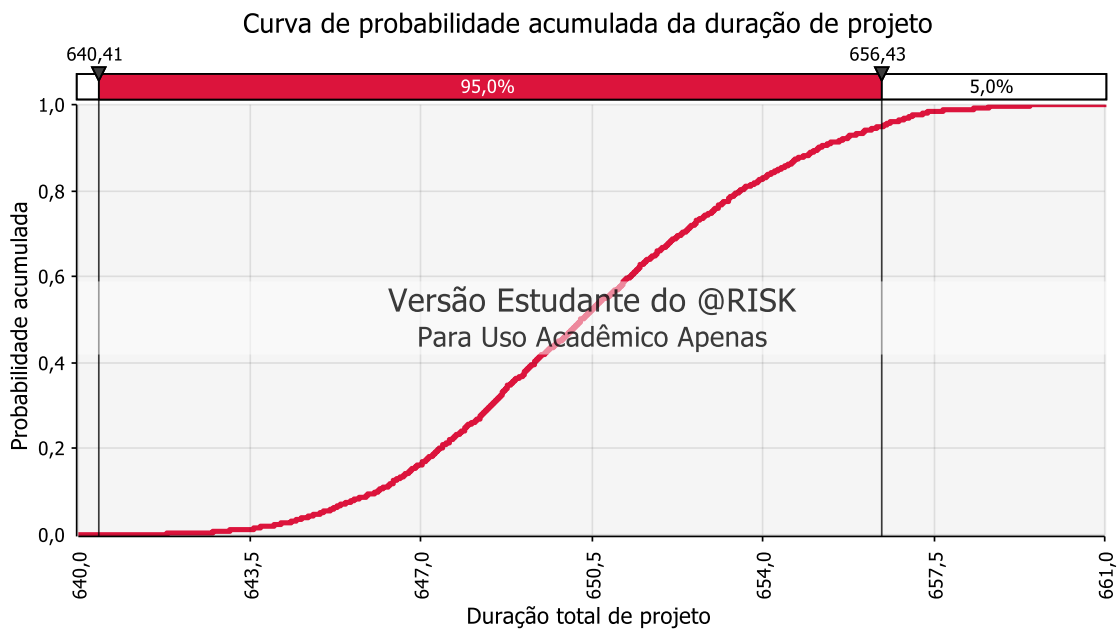


Figura 20: Duração total estimada referente a 95% de probabilidade de êxito

Fonte: Autoria própria, 2020.

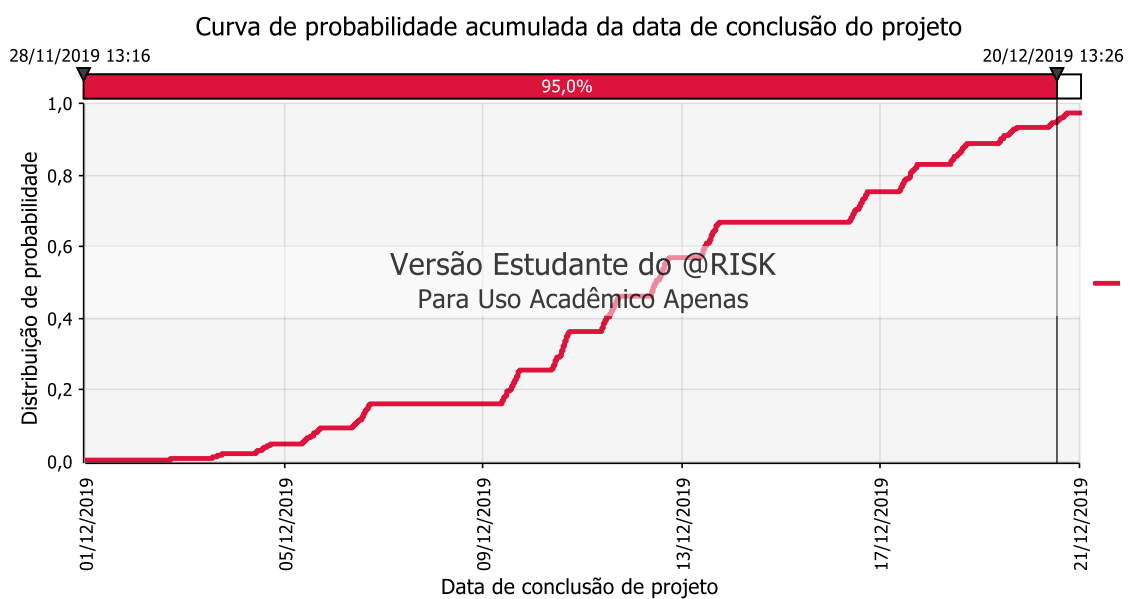


Figura 21: Data de conclusão estimada referente a 95% de probabilidade de êxito

Fonte: Autoria própria, 2020.

4.2.5 Cenários alternativos de prazos de projetos

Outra ferramenta capaz de agregar valor considerável na análise de cronogramas são os gráficos Tornado e gráficos de dispersão. Após realizada a simulação, o @Risk é capaz de categorizar quais as atividades mais impactam os *outputs* de projeto. Neste sentido, o gráfico Tornado a seguir (figura 22) elenca as dez atividades que, ao sofrerem variação em sua duração planejada, foram as principais responsáveis por deslocar a data de término média da obra.

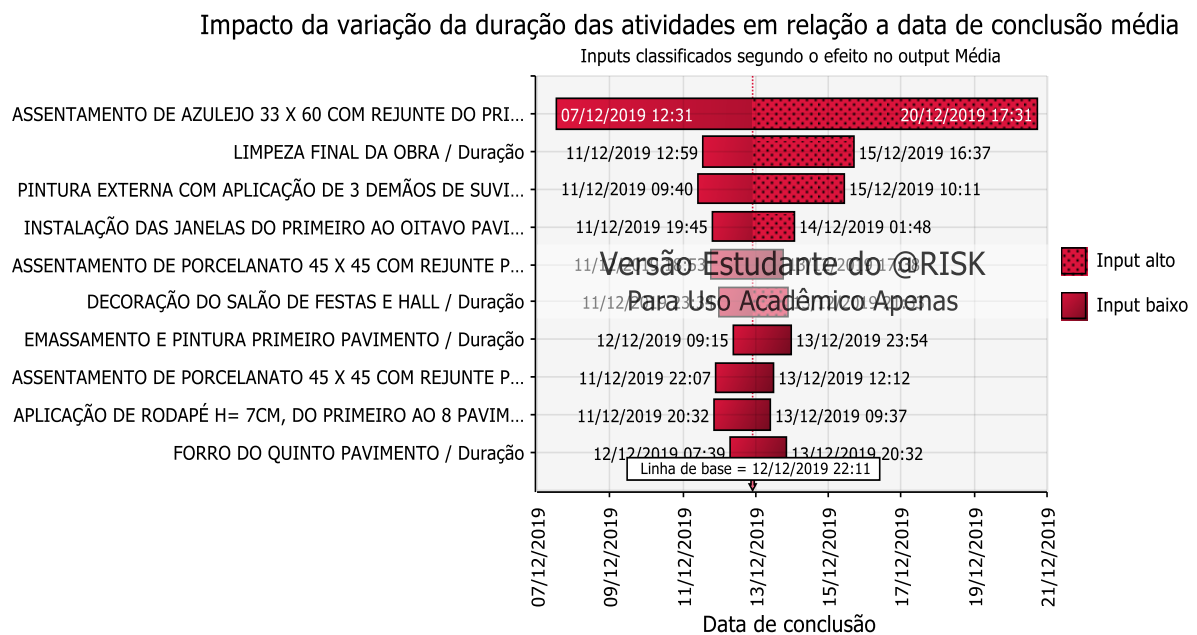


Figura 22: Impacto da variação da duração das atividades em relação a data de conclusão média
Fonte: Autoria própria, 2020.

Em destaque na primeira posição encontra-se a atividade “Assentamento de azulejo 33 x 60 com rejunte”, sendo realizada em todos os pavimentos do edifício e com uma duração estimada de 73 dias. Após a aplicação da distribuição triangular, determinou-se uma duração mínima de 65,7 dias e uma duração máxima de 83,95 dias para esta tarefa.

O efeito que a variação da duração desta atividade causa é suficiente para deslocar a data de conclusão média da obra entre 07/12/2019 até 20/12/2019. As principais razões que explicam este comportamento é o fato de se tratar de uma atividade pertencente ao caminho crítico, isto é, cada dia de atraso na mesma impacta diretamente na data de término da obra, além de já possuir um tempo considerável de duração planejada.

Para facilitar a visualização da relação entre as variáveis duração de atividade, data de término média e probabilidade de êxito, foi elaborado um gráfico de dispersão fixando os parâmetros a partir de eixos verticais e horizontais. O eixo vertical representa a duração

estimada da atividade, que neste caso foi definido como 73 dias, referente ao planejamento prévio do cronograma. Já o eixo horizontal representa a data de término estimada no projeto em 09/12/2019. O gráfico de dispersão é apresentado abaixo na figura 23.

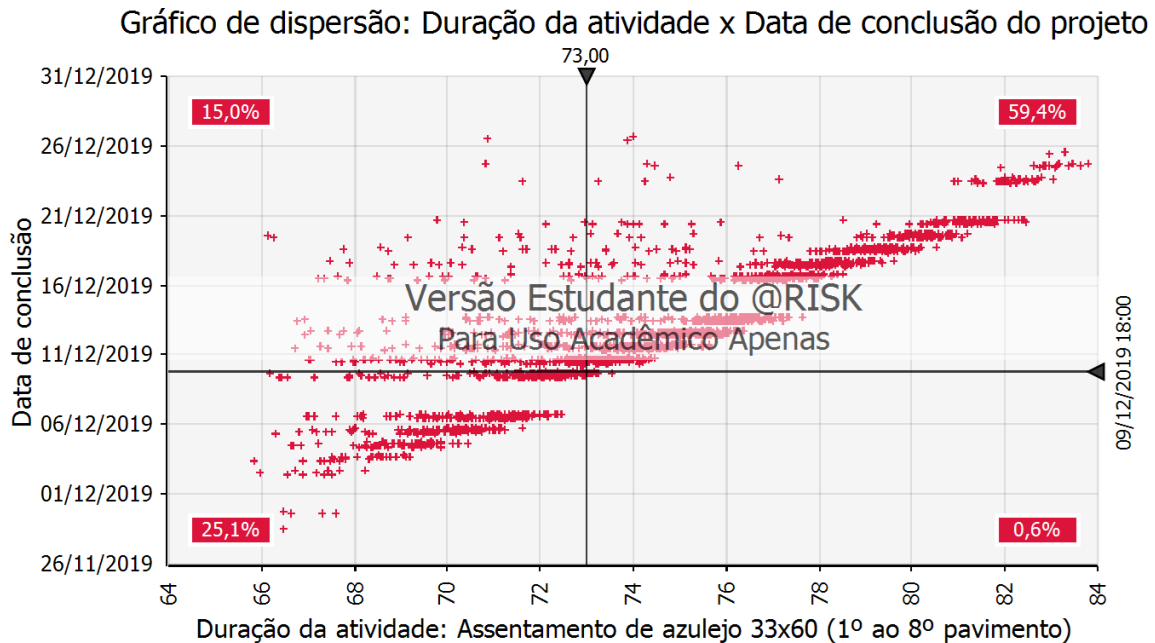


Figura 23: Gráfico de dispersão da duração atividade em relação a data de conclusão
Fonte: Autoria própria, 2020.

A análise do gráfico de dispersão revela o segundo quadrante como a porção de maior destaque. O resultado demonstra uma probabilidade de 59,4% de que a obra exceda os 73 dias planejados para a atividade e, ainda, impactando em uma data de conclusão da obra superior a 09/12/2019. Em contraste, o quarto quadrante aponta apenas 25,1% como expectativa de que a atividade seja concluída com uma duração inferior a 73 dias e que a obra seja concluída em uma data anterior a 09/12/2019.

Assim como os histogramas e curvas de probabilidade acumulada discutidos previamente, esta ferramenta também é interativa e permite redefinir os eixos para situações hipotéticas a fim de examinar diferentes cenários. Dessa maneira, o eixo vertical foi fixado em uma nova posição de 80 dias, a qual representa uma estimativa muito mais próxima da duração máxima da atividade. Para o eixo horizontal foi utilizada a data de término em 20/12/2019, como exposto anteriormente na figura 23 sendo a data referente a uma probabilidade de 95% de êxito. O novo cenário é ilustrado na figura 24 a seguir.

Gráfico de dispersão: Duração da atividade x Data de conclusão do projeto

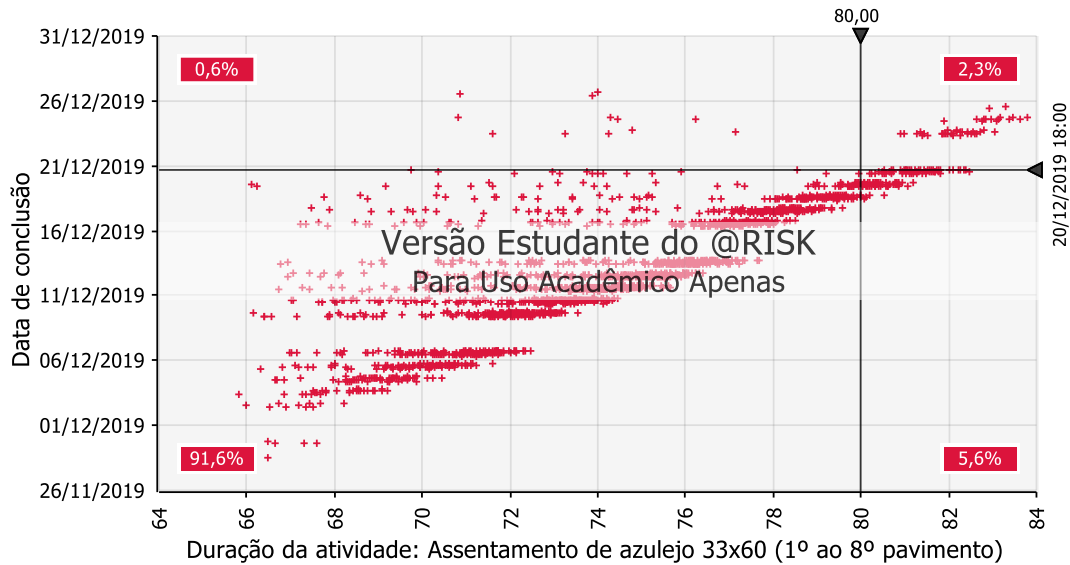


Figura 24: Gráfico de dispersão em cenário hipotético da duração pela data de conclusão
Fonte: Autoria própria, 2020.

Esta hipótese evidencia uma probabilidade muito maior de êxito em relação a atividade de “Assentamento de azulejo 33x60”. Representada pelo quarto quadrante do gráfico de dispersão, existe uma expectativa de 91,6% de que duração da atividade seja finalizada em até 80 dias e que obra seja concluída antes de 20/12/2019.

De posse dos resultados analisados, foi realizada uma nova simulação para um cronograma adaptado, na qual optou-se por efetivamente alongar o prazo da atividade discutida. A nova distribuição da duração total de projeto é apresentada na figura 25.

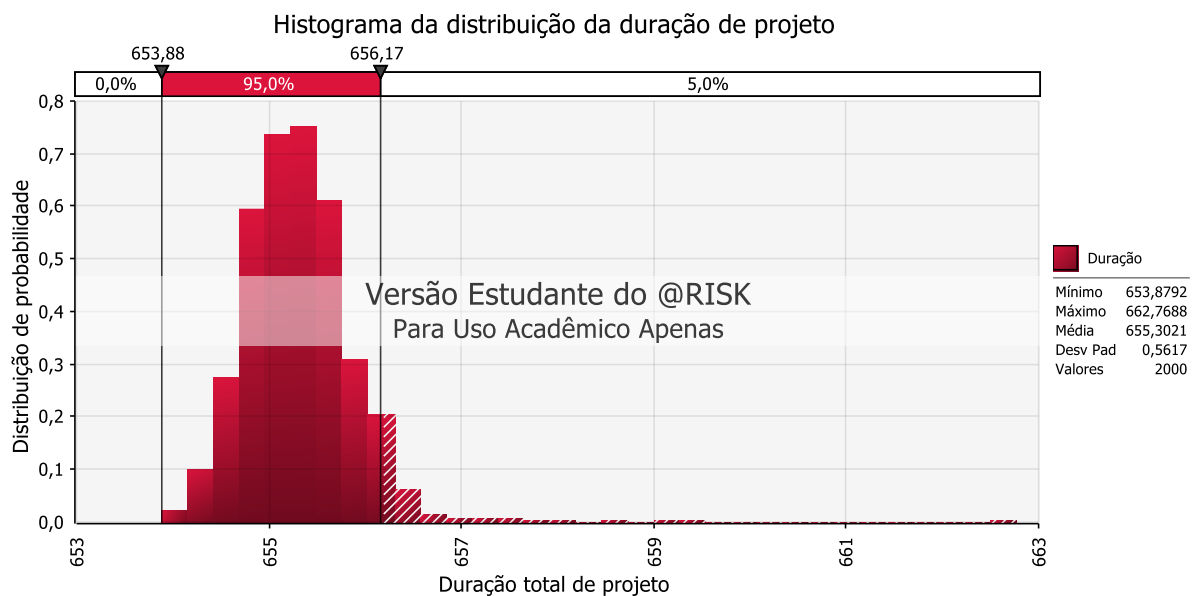


Figura 25: Histograma da distribuição da duração total da obra com cronograma adaptado
Fonte: Autoria própria, 2020.

Para esta simulação, os *inputs* foram redefinidos para o valor de 80 dias, isto é, tanto para a duração mínima, média e máxima da atividade de “Assentamento de azulejo 33x60”. A simplificação parte do pressuposto que o aumento na duração da atividade é suficiente para mitigar os riscos e imprevistos de obra, os quais anteriormente foram modelados através da distribuição triangular.

Como é possível observar na figura 25, houve uma redução nítida no intervalo da duração total da obra. Anteriormente, este intervalo tinha como duração mínima e máxima 640,41 e 656,43 dias, respectivamente, totalizando uma diferença de aproximadamente 16 dias (figura 20, probabilidade de 95%). Após a adaptação do cronograma, a variação do intervalo de duração ficou entre 653,88 e 656,17 dias, contabilizando apenas 3 dias de diferença.

O principal parâmetro estatístico que justifica o contraste nos resultados é observado pelo desvio padrão. Antes da adaptação, o desvio padrão da duração total da obra era de 3,46 dias, enquanto que no cenário alternativo o mesmo apresentou o valor de 0,56 dia. A tabela 4 sintetiza o comparativo entre o cenário original e adaptado.

Tabela 4: Comparação entre cenários utilizando a Simulação de Monte Carlo

Cenário de Simulação	Duração Mínima (dias)	Duração Máxima (dias)	Desvio Padrão (dias)
Original	640,41	656,43	3,464
Alternativo	653,88	656,17	0,5617

Fonte: Autoria própria, 2020.

Dessa forma, o histograma do cenário alternativo ilustra uma menor dispersão dos *outputs* em relação a duração média da obra, sendo consideravelmente mais compacto. Portanto, é esperado que a obra apresente menores níveis de incerteza, riscos e imprevistos, resultando em benefícios para o planejamento, monitoramento e gerenciamento do cronograma executivo.

4.2.6 Comparativo dos resultados obtidos por outros pesquisadores

Com o intuito de apresentar uma perspectiva mais abrangente dos resultados deste trabalho, foi realizada a leitura e compilação de estudos, monografias, artigos científicos, entre outras publicações, de diversos pesquisadores pertinentes a utilização da Simulação de Monte Carlo em gerenciamento de cronogramas de projetos da construção civil.

As metodologias de pesquisa se assemelham na forma de conduzir os estudos de caso. Primeiramente os dados de entrada são obtidos por meio da elaboração de cronogramas de obras fictícios (estudo analítico) ou utilizando amostras de obras reais (estudo experimental), como é o caso do presente trabalho. Em ambos os casos, os cronogramas de planejamento inicial seguem as metodologias mais usuais: Método do Caminho Crítico (CPM) ou PERT.

Naturalmente, os autores empregaram diferentes tipos de distribuições de probabilidade em seus estudos. Por exemplo, distribuição triangular, beta ou até ajustes personalizados, quando especialistas determinam durações máximas e mínimas individualmente para cada atividade. Todavia, um resultado em comum que pôde ser observado em todos os estudos foi, a partir da Simulação de Monte Carlo (SMC), qual seria a probabilidade de que a obra fosse efetivamente concluída na data de planejamento, dispostos na tabela 5.

Tabela 5: Comparativo entre resultados obtidos por outros pesquisadores quanto a probabilidade de conclusão do projeto na data planejada

Pesquisador	Metodologia de Cronograma	Distribuição de Probabilidade	Probabilidade SMC
Mendes (2017)	CPM	Triangular	18,60%
Machado e Ferreira (2012)	PERT	Beta	15,00%
Oliveira, Schramm e B. Schramm (2019)	PERT	Ajustada / Personalizada	41,81%
Nascimento (2007)	CPM	Triangular	0,90%
Mendonça (2020)	CPM	Triangular	25,70%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

De maneira geral, os resultados das simulações apresentaram elevados níveis de riscos de não satisfazer os cronogramas de planejamento inicial das obras. No estudo de caso de Mendes (2017), por exemplo, revelou apenas 18,60% de probabilidade de que um edifício residencial de grande porte, constituído de duas torres e 30 pavimentos cada, fosse concluído na data estimada pelo método CPM.

Em outra pesquisa, Nascimento (2007) avaliou um cronograma de um projeto multidisciplinar referente a um projeto de Turbogenerador, envolvendo diversas especialidades (processos, civil, mecânica, tubulação, instrumentação, entre outros). A empresa utilizara o método CPM para desenvolver o planejamento operacional, colocando supervisores em cada área de competência a fim de estimar as durações das atividades. O estudo revelou o

cronograma como inviável, retornando 0,90% de probabilidade de que o empreendimento fosse finalizado conforme a data planejada. Mais detalhes sobre estas pesquisas estão descritos na seção 2.3.1 deste trabalho.

Apesar de cada estudo de caso apresentar suas características, contexto e particularidades, bem como as limitações e premissas assumidas neste trabalho, é possível afirmar que os resultados encontrados corroboram com as descobertas mais recentes de pesquisa em gerenciamento de cronogramas. Como já constatado por Schuyler (2001) e Galvão (2005), quando os riscos de projeto não são considerados, as datas de conclusão geradas por métodos determinísticos como o CPM tendem a ser otimistas, mesmo quando as estimativas de durações são elaboradas cuidadosamente. A utilização da Simulação de Monte Carlo, portanto, se mostra como uma ferramenta complementar viável, contribuindo para assegurar maior grau de segurança no gerenciamento de prazos de projeto durante a execução de obras.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou o aprofundamento consistente em gerenciamento de cronogramas de obras na construção civil, contribuindo para a discussão das limitações dos métodos mais conhecidos pelos engenheiros, representados pelo Método do Caminho Crítico e PERT como apontado pela revisão bibliográfica. Alternativamente, foram propostos métodos complementares como a Simulação de Monte Carlo com a finalidade de aumentar a precisão, segurança e qualidade dos cronogramas de obras.

Para isso, primeiramente foi aplicado um levantamento junto as construtoras de Pato Branco, Paraná, referente às principais práticas e opiniões sobre vantagens e desvantagens quanto a implementação do gerenciamento de cronogramas. Dentro desta amostra, foi constatado que o método mais empregado na rotina de trabalho se tratava de modelos de cronograma pré-definidos CAIXA e similares. Em segundo lugar, os entrevistados apontaram utilizar apenas a experiência, descartando o uso de métodos específicos. Já o método CPM contabilizou 22% dos votos, ocupando o terceiro lugar do levantamento. Em contraste, os métodos PERT e Simulação de Monte Carlo não receberam votos, o que revela que a sua utilização ainda é pouco difundida na construção civil brasileira. Outro resultado destacou que, na prática, dois terços dos profissionais afirmaram que quase nunca ou pouco utilizam cronogramas em suas obras.

Posteriormente, realizou-se o estudo de caso de um cronograma de obras de um edifício de 8 pavimentos, contendo as estimativas de prazos das atividades, bem como a duração total e data de conclusão planejadas para o empreendimento. Todo o cronograma foi desenvolvido pelo engenheiro responsável que utilizou o método CPM e os *softwares Microsoft Project e Excel*. Quando comparado com a data de término efetiva, a entrega da obra apresentou um desvio de prazo global de 4,08% em relação ao planejado, resultando em um mês de atraso.

Para analisar o impacto de riscos e imprevistos aleatórios na obra, o mesmo cronograma foi importado para o *software @RISK 7.6* a fim de realizar a implementação da Simulação de Monte Carlo. Dessa forma, foi possível realizar a modelagem dos dados de entrada, atribuindo durações mínimas, mais prováveis e máximas através da aplicação da distribuição de probabilidade triangular para as atividades

Os principais resultados foram descritos pelos histogramas e curvas de probabilidade acumulada da duração total e data de término da obra. Na análise do cronograma CPM, a simulação estimou uma probabilidade de 25,70% de que a obra fosse concluída até a data de

planejamento. Com o intuito de conferir maior margem de segurança ao projeto, foi proposto um cenário de projeto com o incremento de 9 dias de trabalho em relação a data planejada, aumentando a expectativa de êxito do cronograma para 95%. Quando comparados com estudos de casos semelhantes realizados por outros pesquisadores, os resultados encontrados neste trabalho estão em linha com os principais argumentos e descobertas no âmbito de gerenciamento de cronogramas.

Adicionalmente, é sugerido que a construtora adote procedimentos de análise de riscos de projetos, onde é possível encontrar as atividades críticas com a maior capacidade de reduzir o intervalo da duração total de projeto, conseqüentemente, aumentando o grau de certeza dos prazos de obra.

Conclui-se que por maior que seja o grau de familiaridade e experiência dos engenheiros com os processos construtivos, a estimativa de prazos das atividades ainda está sujeita a ocorrência de eventuais imprevistos e, conseqüentemente, atrasos. Isso significa que as datas de conclusão de projetos tendem a ser otimistas, uma vez que sejam adotados métodos determinísticos (prazos fixos) como o CPM combinada à desconsideração dos riscos de projeto. Por outro lado, tanto CPM quanto PERT podem ser beneficiados por análises estocásticas complementares como a Simulação de Monte Carlo, de modo a aumentar a assertividade de planejamento dos cronogramas na construção civil. Por fim, a metodologia se mostrou objetiva, sendo apoiada em conceitos e ferramentas de simples implementação.

Dada a importância do tema, sugere-se que estudos futuros explorem o desenvolvimento de *frameworks* para auxiliar os engenheiros e construtoras na aplicação da SMC para o gerenciamento de obras, incluindo metodologias que envolvam múltiplas amostras de obras, estimativas dos custos gerados pela entrega de obras com desvio de prazo, além da utilização de outras distribuições de probabilidade na realização da SMC, sobretudo, consultando a opinião de especialistas em cronogramas de obras quanto a classificação de risco das atividades. Assim, seria possível ajustar o intervalo de variação de prazo das atividades de forma individual, estimando resultados, em teoria, cada vez mais próximos da realidade.

6 REFERÊNCIAS

AKKARI, A M. P.; SILVA, C. C. A.; VALE, F. A.; ESPINHEIRA, R. P.; SENA, R. C. Impacto do indicador de remoção de restrição em relação ao prazo da obra e ao indicador de avanço físico no planejamento e controle da produção: avaliação de 14 empreendimentos da cidade de Salvador-BA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2006. p. 1964 - 1973.

ALENCAR, Antônio Juarez; SCHMITZ, Eber Assis. Análise de risco em gerência de projetos. **Rio de Janeiro: Brasport, 2005.**

ANDRADE, Diego Cesar Cavalcanti. Estudo do gerenciamento do tempo em projetos de construção civil enxuta através da simulação de eventos discretos. Dissertação Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIATION FOR PROJECT MANAGEMENT (APM). **Introduction to Risk Management.** Disponível em: <<https://www.apm.org.uk/resources/what-is-project-management/what-is-risk-management/>> Acesso em: 09 jun 2020.

BAIA, Denize Valéria Santos. Uso de ferramentas BIM para o planejamento de obras da construção civil. 2015.

BARCAUI, Andre B. **Gerenciamento do tempo em projetos.** Editora FGV, 2015.

BERNARDES, M. M. e S. **Planejamento e controle da produção para empresas de construção civil.** Rio de Janeiro: LTC, 2003.

BURKE, Rory. Project management: planning and control techniques. **New Jersey, USA**, v. 26, 2013.

Caixa Econômica Federal (CEF). **Manual de metodologias e conceitos – SINAPI;** Versão 008 – Vigência 06/2014. www.caixa.gov.br

CLELAND, David I.; IRELAND, Lewis R. **Gerência de projetos**. Reichmann & Affonso Editores, 2002

CORREIA, Maria Sonia Barros Barbosa. Probabilidade e estatística. 2003.

COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T.; LIMA, H. M. R.; BARTH, K. B. Sistema de indicadores para benchmarking na construção civil: Manual de Utilização. Porto Alegre, 2005.

ELEUTÉRIO, Rodrigo dos Santos. **Proposta de indicadores de aderência entre os planejamentos de médio e curto prazo**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

EVANS, James R.; OLSON, David Louis. **Introduction to simulation and risk analysis**. Prentice Hall PTR, 2001.

FERREIRA, A. B. de H. **Minidicionário da Língua Portuguesa**. 8 ed. Curitiba: Positivo, 2010.

FLYVBJERG, B.; HOLM, M. S.; BUHL, S. Underestimating Costs in Public Works Projects: *Error or Lie?* **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 25, n. 4, p. 302-315, 2011.

FREITAS FILHO, P. J. Introdução a modelagem e simulação de sistemas. 2ª edição. **Editora Visual**, 2008.

GALLOWAY, Patricia D. Survey of the construction industry relative to the use of CPM scheduling for construction projects. **Journal of construction engineering and management**, v. 132, n. 7, p. 697-711, 2006.

GALVÃO, Márcio. Análise quantitativa de riscos com simulação de Monte Carlo. **Mundo Project Management-MPM prática**. Editora Mundo Ltda, 2005.

GIL, Antônio Carlos. Como classificar as pesquisas. **Como elaborar projetos de pesquisa**, v. 4, p. 44-45, 2002.

ISO, NBR. 10006, Gestão da qualidade–Diretrizes para a qualidade no gerenciamento de projetos. **Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT. Rio de Janeiro, 2000.**

JÚNIOR, PAULO ALVES DE OLIVEIRA; DANTAS, MARIA JOSÉ PEREIRA; MACHADO, RICARDO LUIZ. Aplicação da simulação de Monte Carlo no gerenciamento de riscos em projetos com o Crystal Ball. 2013.

KERZNER, Harold. **Gestão de Projetos: As Melhores Práticas.** Bookman Editora, 2016.

LEAL, Leonardo Rosas; DE OLIVEIRA, Mário Jorge Ferreira. Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos: uma revisão. **Revista Produção Online**, v. 11, n. 2, p. 503-525, 2011.

LEE, SangHyun; PEÑA-MORA, Feniosky. System dynamics approach for error and change management in concurrent design and construction. In: **Proceedings of the 37th conference on Winter simulation.** Winter Simulation Conference, 2005. p. 1508-1514.

LIMMER, Karl Vicente; Planejamento, Orçamentação. Controle de Projetos e Obras. **Editora LTC, 1996.**

LOUZADA, Rafael Vieira. **Elaboração de orçamentos na construção civil: considerações sobre a contribuição do cronograma executivo de uma obra na definição de seus custos diretos e indiretos.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

MACHADO, Nilton Roberto do Santos; FERREIRA, Alessandra Oliveira. Método de simulação de Monte Carlo em planilha Excel: desenvolvimento de uma ferramenta versátil para análise quantitativa de riscos em gestão de projetos. **Revista de Ciências Gerenciais**, v. 16, n. 23, 2012.

MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras.** Pini, 2010.

MELO, Michelle Kemper Campos de. Discussões sobre impactos em produtividade e consumo de materiais a partir do processo de aferição do SINAPI. 2016.

MENDES, Leonardo Moraes Naves. **Proposta de método para avaliação de riscos relacionados a desvio de prazos de construção de obras residenciais.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás, 2017.

MODER, Joseph J.; PHILLIPS, Cecil R.; DAVIS, Edward W. Project management with CPM. **PERT and Precedence Diagram**, v. 3, 1983.

MOREIRA, Daniel Augusto. Administração da produção e operações. rev. e ampl. **São Paulo: Cengage Learning**, 2008.

NASCIMENTO, Carlos Augusto Dornellas do. **Gerenciamento de prazos: uma revisão crítica das técnicas em uso em empreendimentos em regime EPC.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2007.

NEVES, Suzana Andreassa. **A qualificação da mão de obra para o aumento da produtividade em obras de construção civil: responsabilidades compartilhadas.** 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

OLIVEIRA, Paulo Ellery Alves de; SCHRAMM, Fernando; SCHRAMM, Vanessa B. **Abordagem de gerenciamento do cronograma para auxiliar na redução de incertezas em projetos da construção civil.** LI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2019.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. Administração da produção. **Operações industriais e de serviços.** Unicenp, 2007.

PMI – chapters brasileiros. Estudo de benchmarking em gerenciamento de projetos: perspectiva geral. 2009. Disponível em: . Acesso em: 05 out 2010.

PMI (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE). Practice standard for scheduling. 2011.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)**. Project Management Inst, 2017.

RAGSDALE, Cliff T. **Spreadsheet modeling and decision analysis**. Thomson South-Western, 2004.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1989

SAMANEZ, Carlos Patricio. **Engenharia econômica**. Pearson, 2009.

SCHUYLER, J. **Risk and decision analysis in projects**. Project Management Institute, 2ª ed. 2001.

TYSIAK, Wolfgang; SERESEANU, Alexander. Project risk management using Monte Carlo simulation and Excel. **International Journal of Computing**, v. 9, n. 4, p. 362-367, 2010.

VARGAS, Ricardo Viana. **Gerenciamento de Projetos (6ª edição)**. Brasport, 2005.

WEBSTER, Francis M. What project management is all about. **Chapter One in The AMA Handbook of Project Management, Paul C. Dinsmore, Editor**, p. 5-17, 1993.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

7 APÊNDICE

7.1 APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DAS PRÁTICAS DE GERENCIAMENTO DE CRONOGRAMAS

1. Sobre a frequência da utilização de cronogramas de obras, marque a opção mais adequada a empresa.

(Onde 0 representa não utilizo cronogramas e 4 sempre utilizo cronogramas)

2. Em relação ao banco de dados utilizado para as estimativas de prazos, marque a opção mais adequada a empresa ou a sua experiência.

- a) Utilizamos tabelas da TCPO, SINAPI e similares
- b) Possuímos dados históricos e indicadores próprios das equipes
- c) Experiência, não utilizamos banco de dados específico

3. Qual método é utilizado para o planejamento e desenvolvimento do cronograma de obras?

- a) CPM: método do caminho crítico
- b) PERT
- c) Simulação de Monte Carlo
- d) Experiência, não utilizo um método específico

4. Quais ferramentas de gerenciamento de cronogramas são utilizadas pela empresa?

- a) Materiais físicos: cartazes, post-its, quadro-branco
- b) Planilha de excel
- c) MS Project: diagrama de Gantt e diagrama de rede
- d) Sienge: cronograma físico-financeiro
- e) @RISK ou Crystal Ball
- f) Software próprio entre outros.

5. A partir de que ponto você considera vantajoso o uso cronograma de obras?

- a) Toda e qualquer obra, desde pequeno porte como residências de 150m²
- b) Obras de médio porte como salas comerciais, galpões, e edifícios com até 5 pavimentos.
- c) Obras de grande porte, edifícios com mais de 10 pavimentos, plantas industriais, hospitais, escolas e etc.

6. Na sua opinião quais são as principais vantagens e desvantagens na utilização de cronogramas de obras?

7.2 APÊNDICE B – RELATOS DOS ENGENHEIROS ENTREVISTADOS

Vantagens
Acompanhamento da execução; Previsão realista do termino do empreendimento; Previsão de caixa financeiro; programar contratação de mão de obra; Melhor distribuição de recursos; Assertividade no prazo de compras; Dados para orçamentação realista.
Conseguir programar e acompanhar as etapas da obra, atender aos prazos, reduzir custos e otimizar o uso de recursos financeiros.
Controle de prazos; gestão de recursos; programação; verificações; experiências para futuras obras e orçamentos.
Economia e agilidade na obra.
Prever tempo e gastos.
Ter indicadores e dados históricos para auxiliar nos próximos projetos/execuções, além obviamente de auxiliar no controle da obra (recursos humanos, financeiros ...)
É essencial a utilização de cronogramas para que se possa organizar e prevenir riscos com a sequência executiva, organizar o fluxo de suprimentos, distribuição das prioridades e alocação da mão de obra e também a facilidade de traçar planos alternativos quando necessário.
Economia.
Desvantagens
A desvantagem principal é que infelizmente não são todos os profissionais que estão acostumados a trabalhar com cronograma na obra, fazendo as coisas "no grito" de acordo com sua experiência. Em ocasiões onde não é possível contar com um profissional responsável pela execução do cronograma, acaba sendo um desperdício de trabalho técnico e tempo é dinheiro.
Dificuldade na aplicação prática
Devido à falta de mão de obra especializada pode causar atraso na obra e alguns contratemplos.
Não vejo nenhuma desvantagem no uso de cronograma, o que existe são dificuldades de implantação e controle.
Cronograma deve ser atualizado diariamente de acordo com o real andamento da obra, isso demanda tempo do profissional responsável.

7.3 APÊNDICE C – CRONOGRAMA DE OBRAS EXECUTIVO

Nome da tarefa	Duração	Início	Término	Predecessoras
EDIFÍCIO A	648 dias	02/05/17	09/12/19	
<u>SERVIÇOS PRELIMINARES</u>	<u>8 dias</u>	<u>02/05/17</u>	<u>11/05/17</u>	
BARRACO PARA VESTIÁRIO E DEPÓSITOS	7 dias	02/05/17	10/05/17	
TÉRMINO DA TERRAPLENAGEM	1 dia	04/05/17	04/05/17	
PORTÃO DA OBRA	1 dia	08/05/17	08/05/17	
LOCAÇÃO COM TÁBUAS CORRIDAS	3 dias	09/05/17	11/05/17	3II+5 dias
<u>ESTRUTURA</u>	<u>409,88 dias</u>	<u>15/05/17</u>	<u>16/01/19</u>	
FUNDAÇÃO	85 dias	15/05/17	08/09/17	
ESCAVAÇÃO MECANIZADA	4 dias	19/06/17	22/06/17	10II+25 dias
ESTACA FRANKI E SAPATAS	35 dias	15/05/17	30/06/17	6TI+1 dia
BLOCO DE COROAMENTO	36 dias	21/06/17	09/08/17	9II+2 dias
VIGAS BALDRAMES E PILARES	16 dias	10/08/17	31/08/17	11
ATERRO INTERNO COM APILOAMENTO	6 dias	01/09/17	08/09/17	12
SUPERESTRUTURA	330,88 dias	01/09/17	16/01/19	
MURO DE CONTENÇÃO E PILARES	15 dias	01/09/17	21/09/17	12
LAJE MEZANINO	16 dias	22/09/17	13/10/17	15
LAJE G1, COM POLIMENTO	40 dias	16/10/17	08/12/17	16
JOGO DE PILARES DO G1	10 dias	11/12/17	22/12/17	17
LAJE G2, COM POLIMENTO	30 dias	08/01/18	20/02/18	18
JOGO DE PILARES DO G2	10 dias	21/02/18	06/03/18	19
LAJE 1° PAVIMENTO	30 dias	07/03/18	18/04/18	20
LAJE 2° PAVIMENTO (TIPO 01)	12 dias	19/04/18	04/05/18	21
LAJE 3° PAVIMENTO (TIPO 02)	15 dias	24/05/18	14/06/18	22
LAJE 4° PAVIMENTO (TIPO 03)	17 dias	28/05/18	20/06/18	23
LAJE 5° PAVIMENTO (TIPO 04)	17 dias	21/06/18	13/07/18	24
LAJE 6° PAVIMENTO (TIPO 05)	15 dias	16/07/18	03/08/18	25
LAJE 7° PAVIMENTO (TIPO 06)	17 dias	06/08/18	28/08/18	26
LAJE 8° PAVIMENTO (TIPO 07)	17 dias	29/08/18	20/09/18	27
LAJE COBERTURA	17 dias	21/09/18	16/10/18	28
LAJE DO BARRILETE E CASA DE MÁQUINAS	10 dias	17/10/18	30/10/18	29
RESERVATÓRIO	20 dias	14/11/18	13/12/18	30
COBERTURA	14 dias	13/12/18	16/01/19	31
<u>IMPERMEABILIZAÇÕES</u>	<u>29 dias</u>	<u>28/08/17</u>	<u>05/10/17</u>	
IMPERMEABILIZAÇÃO DE VIGAS BALDRAME	4 dias	28/08/17	31/08/17	12TI-4 dias
DRENO E IMPERMEABILIZAÇÃO DE MURO DE ARRIMO	10 dias	22/09/17	05/10/17	15
<u>ALVENARIA</u>	<u>164 dias</u>	<u>19/04/18</u>	<u>10/12/18</u>	
ALVENARIA NAS ESCADARIAS	15 dias	07/05/18	25/05/18	22
ALVENARIA TÉRREO	10 dias	24/05/18	07/06/18	22
ALVENARIA MEZANINO	10 dias	19/04/18	02/05/18	21

ALVENARIA G1	15 dias	03/05/18	23/05/18	39
ALVENARIA G2	15 dias	24/05/18	14/06/18	40
ALVENARIA E GUARDA-CORPO PRIMEIRO PAVIMENTO	15 dias	15/06/18	05/07/18	41
ALVENARIA DO SEGUNDO PAVIMENTO	15 dias	06/07/18	26/07/18	42
ALVENARIA DO TERCEIRO PAVIMENTO	15 dias	27/07/18	16/08/18	43
ALVENARIA DO QUARTO PAVIMENTO	15 dias	16/07/18	03/08/18	25
ALVENARIA DO QUINTO PAVIMENTO	15 dias	06/08/18	24/08/18	26
ALVENARIA DO SEXTO PAVIMENTO	15 dias	29/08/18	18/09/18	27
ALVENARIA DO SÉTIMO PAVIMENTO	15 dias	21/09/18	11/10/18	28
ALVENARIA DO OITAVO PAVIMENTO	15 dias	17/10/18	07/11/18	29
ALVENARIA CASA DE MÁQUINAS E PLATIBANDA	15 dias	20/11/18	10/12/18	30TI+12 dias
EMBUTIMENTO DOS ELETRODUTOS NAS PAREDE, TETOS E FIXAÇÃO DAS CAIXAS	161 dias	03/05/18	19/12/18	
ELETRODUTOS E CAIXAS TÉRREO	7 dias	08/06/18	18/06/18	38
ELETRODUTOS E CAIXAS MEZANINO	7 dias	03/05/18	11/05/18	39
ELETRODUTOS E CAIXAS G1	7 dias	24/05/18	04/06/18	40
ELETRODUTOS E CAIXAS G2	7 dias	15/06/18	25/06/18	41
ELETRODUTOS E CAIXAS 1° PAVIMENTO	7 dias	06/07/18	16/07/18	42
ELETRODUTOS E CAIXAS 2° PAVIMENTO (TIPO 01)	7 dias	27/07/18	06/08/18	43
ELETRODUTOS E CAIXAS 3° PAVIMENTO (TIPO 02)	7 dias	17/08/18	27/08/18	44
ELETRODUTOS E CAIXAS 4° PAVIMENTO (TIPO 03)	7 dias	06/08/18	14/08/18	45
ELETRODUTOS E CAIXAS 5° PAVIMENTO (TIPO 04)	7 dias	27/08/18	04/09/18	46
ELETRODUTOS E CAIXAS 6° PAVIMENTO (TIPO 05)	7 dias	19/09/18	27/09/18	47
ELETRODUTOS E CAIXAS 7° PAVIMENTO (TIPO 06)	7 dias	15/10/18	23/10/18	48
ELETRODUTOS E CAIXAS 8° PAVIMENTO (TIPO 07)	7 dias	08/11/18	19/11/18	49
ELETRODUTOS E CAIXAS BARRILETE E COBERTURA	7 dias	11/12/18	19/12/18	50
INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA E QUENTE NAS PAREDES	159 dias	03/05/18	17/12/18	
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO TÉRREO	5 dias	08/06/18	14/06/18	38
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO MEZANINO	24 dias	03/05/18	06/06/18	39
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO G1	5 dias	24/05/18	30/05/18	40
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO G2	5 dias	15/06/18	21/06/18	41
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO 1° PAVIMENTO	5 dias	06/07/18	12/07/18	42

EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO 2° PAVIMENTO (TIPO 01)	5 dias	27/07/18	02/08/18	43
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO 3° PAVIMENTO (TIPO 02)	5 dias	17/08/18	23/08/18	44
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO 4° PAVIMENTO (TIPO 03)	5 dias	06/08/18	10/08/18	45
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO 5° PAVIMENTO (TIPO 04)	5 dias	27/08/18	31/08/18	46
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO 6° PAVIMENTO (TIPO 05)	5 dias	19/09/18	25/09/18	47
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO 7° PAVIMENTO (TIPO 06)	5 dias	15/10/18	19/10/18	48
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO 8° PAVIMENTO (TIPO 07)	5 dias	08/11/18	14/11/18	49
EMBUTIMENTO DAS INSTALAÇÕES NO BARRILETE E COBERTURA	5 dias	11/12/18	17/12/18	50
<u>CHAPISCO E EMBOÇO INTERNO</u>	<u>163 dias</u>	<u>14/05/18</u>	<u>15/01/19</u>	
CHAPISCO E EMBOÇO TÉRREO	10 dias	19/06/18	02/07/18	52
CHAPISCO E EMBOÇO MEZANINO	8 dias	14/05/18	23/05/18	53
CHAPISCO E EMBOÇO G1	10 dias	05/06/18	18/06/18	54
CHAPISCO E EMBOÇO G2	10 dias	26/06/18	09/07/18	55
CHAPISCO E EMBOÇO PRIMEIRO PAVIMENTO	15 dias	10/07/18	30/07/18	83
CHAPISCO E EMBOÇO SEGUNDO PAVIMENTO	12 dias	31/07/18	15/08/18	84
CHAPISCO E EMBOÇO TERCEIRO PAVIMENTO	12 dias	16/08/18	31/08/18	85
CHAPISCO E EMBOÇO QUARTO PAVIMENTO	12 dias	03/09/18	18/09/18	86
CHAPISCO E EMBOÇO QUINTO PAVIMENTO	12 dias	19/09/18	04/10/18	87
CHAPISCO E EMBOÇO SEXTO PAVIMENTO	12 dias	05/10/18	23/10/18	88
CHAPISCO E EMBOÇO SÉTIMO PAVIMENTO	12 dias	24/10/18	09/11/18	89
CHAPISCO E EMBOÇO OITAVO PAVIMENTO	12 dias	29/11/18	14/12/18	90TI+12 dias
CHAPISCO E EMBOÇO CASA DE MÁQUINAS E PLATIBANDA	12 dias	17/12/18	15/01/19	91
<u>CHAPISCO E EMBOÇO EXTERNO</u>	<u>70 dias</u>	<u>30/11/18</u>	<u>22/03/19</u>	
CHAPISCO E REBOCO EXTERNO (3 BALANCINS 6 PESSOAS)	70 dias	30/11/18	22/03/19	49TI+15 dias
<u>COBERTURA</u>	<u>15 dias</u>	<u>25/03/19</u>	<u>12/04/19</u>	
COBERTURA EM TELHA DE FIBROCIMENTO E = 6MM COM ESTRUTURA DE MADEIRA	15 dias	25/03/19	12/04/19	93
<u>CONTRA-PISO</u>	<u>40 dias</u>	<u>12/11/18</u>	<u>21/01/19</u>	
CONTRA-PISO ESTRUTURAL SOBRE LAJE DE CONCRETO ARMADO (DUAS EQUIPES 4 PESSOAS)	40 dias	12/11/18	21/01/19	90
<u>PISO</u>	<u>5 dias</u>	<u>21/02/18</u>	<u>27/02/18</u>	
BASE PARA PISO COM BRITA GRADUADA	4 dias	21/02/18	26/02/18	19
PISO EM CONCRETO E = 7 CM PARA RECEBIMENTO DE REVESTIMENTO CERÂMICO	1 dia	27/02/18	27/02/18	100
<u>FORRO DE GESSO PLACAS 60 X 60</u>	<u>97 dias</u>	<u>25/09/18</u>	<u>25/02/19</u>	
FORRO DE GESSO TÉRREO E MEZANINO	20 dias	25/09/18	23/10/18	179

FORRO DO PRIMEIRO PAVIMENTO	7 dias	24/10/18	01/11/18	103
FORRO DO SEGUNDO PAVIMENTO	10 dias	05/11/18	19/11/18	104
FORRO DO TERCEIRO PAVIMENTO	10 dias	20/11/18	03/12/18	105
FORRO DO QUARTO PAVIMENTO	10 dias	04/12/18	17/12/18	106
FORRO DO QUINTO PAVIMENTO	10 dias	18/12/18	14/01/19	107
FORRO DO SEXTO PAVIMENTO	10 dias	15/01/19	28/01/19	108
FORRO DO SÉTIMO PAVIMENTO	10 dias	29/01/19	11/02/19	109
FORRO DO OITAVO PAVIMENTO	10 dias	12/02/19	25/02/19	110
<u>RUFOS E ALGEROZ</u>	<u>7 dias</u>	<u>15/04/19</u>	<u>24/04/19</u>	
RUFO E ALGEROZ	5 dias	15/04/19	22/04/19	96
CALHA METÁLICA PARA COBERTURA	2 dias	23/04/19	24/04/19	113
<u>REVESTIMENTO CERÂMICO DA FACHADA E CHURRASQUEIRAS</u>	<u>115 dias</u>	<u>25/03/19</u>	<u>03/09/19</u>	
PASTILHAS ESCURAS COM REJUNTE	30 dias	11/06/19	23/07/19	136
PASTILHAS CLARAS COM REJUNTE	30 dias	24/07/19	03/09/19	116
REVESTIMENTO EM TIJOLINHO EXTRUDADO	20 dias	25/03/19	22/04/19	94
REVESTIMENTO EM AZULEJO NAS CHURRASQUEIRAS	10 dias	23/04/19	06/05/19	118
<u>PINTURA INTERNA</u>	<u>176 dias</u>	<u>05/11/18</u>	<u>26/07/19</u>	
EMASSAMENTO E PINTURA TÉRREO E MEZANINO	5 dias	05/11/18	09/11/18	104
EMASSAMENTO E PINTURA PRIMEIRO PAVIMENTO	12 dias	12/11/18	28/11/18	121
EMASSAMENTO E PINTURA SEGUNDO PAVIMENTO	12 dias	29/11/18	14/12/18	122
EMASSAMENTO E PINTURA TERCEIRO PAVIMENTO	12 dias	17/12/18	15/01/19	123
EMASSAMENTO E PINTURA QUARTO PAVIMENTO	12 dias	16/01/19	31/01/19	124
EMASSAMENTO E PINTURA QUINTO PAVIMENTO	12 dias	01/02/19	18/02/19	125
EMASSAMENTO E PINTURA SEXTO PAVIMENTO	12 dias	19/02/19	07/03/19	126
EMASSAMENTO E PINTURA SÉTIMO PAVIMENTO	12 dias	08/03/19	25/03/19	127
EMASSAMENTO E PINTURA OITAVO PAVIMENTO	12 dias	26/03/19	10/04/19	128
PINTURA PAREDES E TETO DO G1	10 dias	11/04/19	25/04/19	129
PINTURA PAREDES E TOTO DO G2	10 dias	26/04/19	09/05/19	130
DEMARCAÇÃO DAS VAGAS DE ESTACIONAMENTO	10 dias	10/05/19	23/05/19	131
PINTURA ÚLTIMA DEMÃO DO HALL DO MEZANINO E DO PRIMEIRO A OITAVO PAVIMENTO 9 X (3DIAS CADA)	25 dias	07/06/19	12/07/19	147
PINTURA DAS ESCADARIAS	10 dias	15/07/19	26/07/19	133
<u>PINTURA EXTERNA</u>	<u>55 dias</u>	<u>25/03/19</u>	<u>10/06/19</u>	

PINTURA EXTERNA COM APLICAÇÃO DE 3 DEMÃOS DE SUVIFLEX, TEXTURA HIDRO-REPELENTE E DUAS DEMÃOS DE TINTA ACRÍLICA SEMI-BRILHO	55 dias	25/03/19	10/06/19	94
<u>REVESTIMENTO CERÂMICO INTERNO</u>	<u>76 dias</u>	<u>19/02/19</u>	<u>06/06/19</u>	
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO TÉRREO	15 dias	19/02/19	12/03/19	98TI+20 dias
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO MEZANINO	5 dias	13/03/19	19/03/19	138
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO PRIMEIRO PAVIMENTO	7 dias	20/03/19	28/03/19	139
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO SEGUNDO PAVIMENTO	7 dias	29/03/19	08/04/19	140
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO TERCEIRO PAVIMENTO	7 dias	09/04/19	17/04/19	141
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO QUARTO PAVIMENTO	7 dias	18/04/19	29/04/19	142
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO QUINTO PAVIMENTO	7 dias	30/04/19	08/05/19	143
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO SEXTO PAVIMENTO	7 dias	09/05/19	17/05/19	144
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO SÉTIMO PAVIMENTO	7 dias	20/05/19	28/05/19	145
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE PAVIMENTO OITAVO PAVIMENTO	7 dias	29/05/19	06/06/19	146
<u>ASSENTAMENTO DE AZULEJOS INTERNOS</u>	<u>354 dias</u>	<u>26/06/18</u>	<u>26/11/19</u>	
ASSENTAMENTO DE AZULEJO 33 X 60 COM REJUNTE DO PRIMEIRO AO 8 PAVIMENTO 8X (9 DIAS CADA)	73 dias	26/06/18	14/11/19	55
ASSENTAMENTO DE AZULEJO 33 X 60 COM REJUNTE DO PAVIMENTO TÉRREO	7 dias	18/11/19	26/11/19	149
<u>ASSENTAMENTO DE PINGADEIRA E SOLEIRAS DE GRANITO NAS JANELAS E PORTAS JANELAS</u>	<u>8 dias</u>	<u>25/05/17</u>	<u>05/06/17</u>	
<u>HALL DA FRENTE DOS ELEVADORES</u>	<u>8 dias</u>	<u>27/11/19</u>	<u>06/12/19</u>	
RODAPÉ E SOLEIRAS GRANITO E = 7CM	8 dias	27/11/19	06/12/19	150
<u>RECEPÇÃO MEZANINO</u>	<u>9 dias</u>	<u>27/11/19</u>	<u>09/12/19</u>	
ASSENTAMENTO DE PORCELANATO 45 X 45 COM REJUNTE NO HALL	5 dias	27/11/19	03/12/19	150
RODAPÉ EM GRANITO E = 7CM E VISTAS NAS PORTAS DO ELEVADOR	4 dias	04/12/19	09/12/19	155
<u>REVESTIMENTO PISO LAMINADO E RODAPÉS</u>	<u>40 dias</u>	<u>15/07/19</u>	<u>06/09/19</u>	
APLICAÇÃO DE PISO LAMINADO NOS DORMITÓRIOS, CIRCULAÇÃO E HALL, DO PRIMEIRO AO 8 PAVIMENTO 8X (5 DIAS CADA)	40 dias	15/07/19	06/09/19	133

APLICAÇÃO DE RODAPÉ H= 7CM, DO PRIMEIRO AO 8 PAVIMENTO (3 DIAS POR ANDAR)	24 dias	15/07/19	15/08/19	133
ESCADAS	5 dias	29/07/19	02/08/19	
CORRIMÃO NAS ESCADAS H=90 CM	5 dias	29/07/19	02/08/19	134
ESQUADRIAS	206 dias	03/09/18	09/07/19	
FIXAÇÃO DE CONTRAMARCOS EM ALUMÍNIO	9 dias	03/09/18	13/09/18	86
INSTALAÇÃO DAS JANELAS DO PRIMEIRO AO OITAVO PAVIMENTO 8 X (2 DIAS POR PAVIMENTO)	20 dias	11/06/19	09/07/19	136
GUARDA-CORPO	8 dias	10/07/19	19/07/19	
INSTALAÇÃO DOS GUARDAS CORPOS NO APARTAMENTOS DO PRIMEIRO AO OITAVO 8X (1 DIA POR PAVIMENTO)	8 dias	10/07/19	19/07/19	164
VIDROS FIXOS DA SALA COMERCIAL	16 dias	10/07/19	31/07/19	
INSTALAÇÃO DOS VIDROS FIXOS DA SALA COMERCIAL E PORTAS DE GIRO	5 dias	22/07/19	26/07/19	166
INSTALAÇÃO DAS PORTAS DE MADEIRA DO PRIMEIRO AO OITAVO PAVIMENTO 8 X (2 DIAS POR PAVIMENTO)	16 dias	10/07/19	31/07/19	164
RECEPÇÃO	5 dias	29/07/19	02/08/19	
INSTALAÇÃO DAS PORTAS E VIDROS FIXOS NO MEZANINO	5 dias	29/07/19	02/08/19	168
INSTALAÇÃO DE COMBATE A INCÊNDIO (EXTINTORES, PLACAS E CENTRAL)	10 dias	25/05/17	07/06/17	
INSTALAÇÃO DE REDE DE HIDRANTES COM MANGUEIRAS	39 dias	25/05/17	18/07/17	
INSTALAÇÕES DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS APARTAMENTOS(2 DIAS POR PAVIMENTO)	36 dias	12/11/18	15/01/19	
INSTALAÇÃO DA REDE NOS PAVIMENTO 8 X	16 dias	12/11/18	04/12/18	90
INSTALAÇÃO DOS MEDIDORES NOS PAVIMENTO 8X	10 dias	19/12/18	15/01/19	177
INSTALAÇÃO DA CENTRAL DE GÁS	10 dias	05/12/18	18/12/18	175
INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E TELEFONICAS	273 dias	31/07/18	06/09/19	
FAIXA INTERNA NOS APARTAMENTOS	40 dias	31/07/18	24/09/18	84
QUADROS DE DISTRIBUIÇÃO NOS APARTAMENTOS	10 dias	15/07/19	26/07/19	133
PRUMADAS E MEDIÇÕES	20 dias	25/09/18	23/10/18	179
INSTALAÇÕES DA ENTRADA DE ENERGIA	30 dias	29/07/19	06/09/19	180
INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS	105 dias	31/07/18	10/01/19	
INSTALAÇÕES DE ÁGUA FRIA NOS APARTAMENTOS	35 dias	24/10/18	13/12/18	89
INSTALAÇÃO DO BARRILETE	15 dias	31/07/18	20/08/18	84
INSTALAÇÕES DE ESGOTO	50 dias	31/07/18	08/10/18	84
PRUMADAS DE ÁGUA FRIA	15 dias	24/10/18	14/11/18	89
INSTALAÇÕES DAS PRUMADAS DE ESGOTO	15 dias	16/11/18	06/12/18	187
INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS	30 dias	16/11/18	10/01/19	187

<u>EQUIPAMENTOS E ELEVADORES E PORTÕES</u>	<u>342 dias</u>	<u>21/02/18</u>	<u>09/07/19</u>	
MONTAGEM ELEVADOR CREMALLHEIRA	3 dias	21/02/18	23/02/18	19
MONTAGEM ELEVADOR PARA 8 PASSAGEIROS	15 dias	07/06/19	28/06/19	147
INSTALAÇÃO DOS INTERFONES	5 dias	01/07/19	05/07/19	192
INSTALAÇÃO DO PORTÃO DE ELEVAÇÃO COM MOTOR	2 dias	08/07/19	09/07/19	193
<u>DECORAÇÃO</u>	<u>30 dias</u>	<u>21/10/19</u>	<u>02/12/19</u>	
DECORAÇÃO DO SALÃO DE FESTAS E HALL	30 dias	21/10/19	02/12/19	199
<u>SERVIÇOS PRÉ-ENTREGA</u>	<u>55 dias</u>	<u>05/08/19</u>	<u>18/10/19</u>	
LIMPEZA FINAL DA OBRA	50 dias	05/08/19	11/10/19	171
CALÇADA EM PAVER E=6 CM	5 dias	14/10/19	18/10/19	198

