



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DEPRO



LAURA LUIZA SANTOS TEIXEIRA

**UM MODELO MATEMÁTICO PARA O PROBLEMA DE
SEQUENCIAMENTO EM PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE
RECURSOS: ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA COM ÊNFASE
EM OBRAS CIVIS**

OURO PRETO - MG
2023

LAURA LUIZA SANTOS TEIXEIRA

**UM MODELO MATEMÁTICO PARA O PROBLEMA DE
SEQUENCIAMENTO EM PROJETOS COM RESTRIÇÃO DE
RECURSOS: ESTUDO DE CASO DE UMA EMPRESA COM ÊNFASE
EM OBRAS CIVIS**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheira de Produção.

Orientadora: Clarisse da Silva Vieira
Camelo de Souza

**OURO PRETO – MG
2023**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

T266m Teixeira, Laura Luiza Santos.

Um modelo matemático para o problema de sequenciamento em projetos com restrição de recursos [manuscrito]: um estudo de caso de uma empresa com ênfase em obras civis. / Laura Luiza Santos Teixeira. - 2023.

52 f.: il.: color., gráf., tab.. + Grafo. (Série: -)

Orientadora: Profa. Dra. Clarisse Souza.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

ISBN: -.

ISSN: -.

1. Planejamento. 2. Administração de projetos. 3. Administração de projetos - Sequenciamento. 4. Administração de projetos - Recursos. I. Souza, Clarisse. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,
ADMINISTRAÇÃO E ECON



FOLHA DE APROVAÇÃO

Laura Luiza Santos Teixeira

**Um Modelo Matemático para o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos:
Estudo de Caso de uma Empresa com Ênfase em Obras Civis**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 11 de Outubro de 2023

Membros da banca

[Doutora] - Clarisse da Silva Vieira Camêlo de Souza - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Doutora] - Irce Fernandes Gomes Guimarães - (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Mestra] - Samantha Rodrigues de Araújo - (Universidade Federal de Minas Gerais)

Clarisse da Silva Vieira Camêlo de Souza, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 11/11/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Clarisse da Silva Vieira Camelo de Souza, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/12/2023, às 11:35, 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 http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0606851** e o código CRC **96F07A78**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.013944/2023-39

SEI nº 0606851

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591540 - www.ufop.br

A Deus dedico mais esta etapa vencida.
Aos meus pais, pelo apoio e incentivo de
sempre.

Aos meus amigos por todo apoio durante
a caminhada da graduação.

AGRADECIMENTO

A minha orientadora Clarisse da Silva Vieira Camelo de Souza, por todo o incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de Engenharia de Produção por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

A todos os meus amigos de Ouro Preto.

“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se, tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos”

Paulo Beleki

RESUMO

O planejamento dentro do ambiente organizacional se faz extremamente importante visto que proporciona maior clareza e direção nas tomadas de decisões e também uma maior eficiência na utilização dos recursos disponíveis. Dito isso, com a atual competitividade do mercado de trabalho, as empresas têm buscado novas alternativas para se destacarem. A aplicação do Planejamento e Controle da Produção tem feito parte dessa mudança, fazendo com que novas estratégias e propostas de mudanças possam surgir, resultando em uma melhor execução das atividades e alocação dos recursos, conseqüentemente, maior eficiência dos seus produtos/serviços para os consumidores. Esta monografia tem como objetivo propor um planejamento otimizado para o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR) em uma obra, utilizando um modelo de Programação Linear Inteira Mista, a fim de reduzir o tempo de execução do projeto em questão.

Palavras-chave: Planejamento, Controle, Projeto, Sequenciamento, Recursos.

ABSTRACT

Planning applied in organizations is extremely important as it provides greater clarity and guidance in decision making and also greater efficiency in the use of available resources. That being said, with the current competitiveness of the labor market, companies have been looking for new alternatives to stand out. The implementation of Production Planning and Control has been part of this change, causing new strategies and proposed changes to emerge, resulting in better execution of activities and allocation of resources, consequently greater efficiency of their products/services to consumers. This monograph aims to propose optimal planning for the Project Sequencing Problem with Restricted Resources (PSPRR) in a work, using an entire Mixed Linear Programming model, in order to reduce the execution time of the project in question.

Keywords: Planning. Control. Project. Sequencing. Resources.

LISTA DE SIGLAS

IC	Indústria da Construção
MPL	Mathematical Programming Language
PIB	Produto Interno Bruto
PO	Pesquisa Operacional
PRR	Projetos com Restrição de Recursos
PSPRR	Problema de Sequenciamento em Projeto com Restrição de Recurso
RC	Requisição de Compras
TAS	Termo de Abertura de Serviço
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxo de informações e PCP	18
Figura 2 - Custos versus benefícios da Gestão de Projetos.	20
Figura 3 - Fases do ciclo de vida de um projeto	22
Figura 4 - EAP para a reforma da Sala da Inspeção	25
Figura 5 - Tabela de composição para realização de forma	26
Figura 6 - Fluxo lógico da modelagem matemática	31
Figura 7 - Processo de Planejamento de Obras	39
Figura 8 - Grafo do processo	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de composição para realização de forma	26
Tabela 2 - Informações sobre as atividades do projeto.....	42
Tabela 3 - Informações sobre os recursos do projeto	44
Tabela 4 - fluxo de recursos obtido após a implementação do modelo no software	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Objetivos	15
1.2.1	<i>Geral</i>	15
1.2.2	<i>Específicos</i>	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Planejamento e Controle da Produção	17
2.2	Gerenciamento de Projetos	19
2.1.1	<i>Gerenciamento de Projetos na Construção Civil</i>	21
2.2	Planejamento de Obras Civis.....	24
2.3	Pesquisa Operacional	30
2.3.1	<i>Modelagem Matemática</i>	32
2.4	Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR).....	33
2.4.1	<i>Modelo Matemático</i>	34
3	METODOLOGIA	37
4	RESULTADOS	38
4.1	Apresentação do Estudo de Caso	38
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

Para que um sistema produtivo possa transformar insumos em produtos (bens e/ou serviços), é necessário pensar em termos de prazos, em que planos são realizados e as ações são disparadas com base nestes planos, a fim de que os eventos planejados pela empresa possam se tornar realidade (TUBINO, 2007). É neste contexto que o Planejamento e Controle da Produção entra com o objetivo de maximizar resultados, diminuir prazos e fazer com que as entregas sejam feitas de acordo com o planejado.

Com a atual competitividade das empresas atuantes no mercado, emerge uma maior busca por destaque e alternativas para se tornarem mais eficientes. Desse modo, o Planejamento e Controle da Produção surge como uma ferramenta essencial, implementando novas estratégias e propostas de mudanças para as empresas (CHIAVENATO, 2005). O PCP, segundo Chiavenato (2005), é um processo que canaliza e absorve informações, tendo como objetivo uma melhor tomada de decisões (quanto e quando) em termos de produção, tornando possível planejar máquinas, equipamentos e também pessoas para o processo produtivo.

Para Bonney (2000), o Planejamento e Controle da Produção responde eficazmente a questões internas e externas das empresas, fornecendo assim uma resposta mais rápida e um maior controle de recursos, entregas e desempenho.

O PCP é aplicado em diversos tipos de empresas e indústrias, incluindo o ramo da construção civil, esta que, por sua vez, tem avançado na utilização de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) (FREITAS, 2021). Sendo assim, o PCP promove um melhor desempenho operacional, otimizando recursos e, conseqüentemente, promovendo entregas pontuais de projetos da construção civil.

No Brasil, a Indústria da Construção (IC) representa significativamente o Produto Interno Bruto (PIB) nacional (IBGE, 2020). No ano de 2018, a atividade da construção gerou R\$278 bilhões de reais em valor de incorporações, obras e/ou serviços, sendo R\$264,4 bilhões em obras e/ou serviços para construção (95,1%) e R\$13,6 bilhões em incorporações (IBGE, 2020).

A Construção Civil é um ramo que envolve grande quantidade de variáveis e se desenvolve em um ambiente particularmente dinâmico e mutável (MATTOS, 2019). Segundo o mesmo autor, com a intensificação da competitividade, globalização de mercados e demanda por bens mais modernos, aumenta o grau de exigência dos clientes e, assim, as empresas passam a investir mais no Planejamento e Controle da Produção. Neste cenário, o Planejamento de Obras é uma ferramenta que auxilia nas tomadas de decisões deste contexto, executando as atividades da melhor forma e sequência, controlando a utilização dos recursos necessários e reduzindo o tempo de duração do projeto (MATTOS, 2019).

Sendo assim, o Planejamento e Controle da Produção é importante quando falamos de projetos, sejam eles da construção civil ou de outros ramos diversos (MENEGUETTI, 2020). Se as obras são projetos e precisamos planejá-las, monitorá-las e controlá-las para alcançar os seus objetivos e atender às suas necessidades, precisamos gerenciá-las com eficácia (MENEGUETTI, 2020). Gerenciar um projeto significa, resumidamente, planejar a sua execução antes de iniciá-lo e, logo após, controlá-lo e monitorá-lo (MENEGUETTI, 2020).

Dessa forma, o Planejamento de Projetos é fundamental para que uma organização possa atingir seus objetivos com sucesso (MENEGUETTI, 2020). Neste contexto, a Pesquisa Operacional e a Modelagem Matemática são fundamentais para auxiliar nas tomadas de decisões das empresas, de forma precisa e eficiente. Para EFA (2002), um modelo de Pesquisa Operacional é uma representação de um sistema real existente (ou a ser implementado), que pretende produzir o funcionamento deste sistema, de modo a aumentar sua produtividade.

Para Alves e Menezes (2010), o primeiro passo para a resolução de um problema de Pesquisa Operacional é a formulação do problema, processo que consiste em traduzir a realidade empírica para sentenças lógicas. Partindo deste ponto, é possível estabelecer um modelo matemático para o problema. O segundo passo é a dedução de um modelo, seguido da sua análise e resolução através de algoritmos.

Neste cenário, para Demeulemeester e Herroelen (1996), dentro da administração de projetos, um dos problemas de maior relevância é a determinação do sequenciamento da execução das atividades, de forma que os recursos sejam alocados de maneira eficiente. A aplicação do sequenciamento das atividades promove a garantia de que elas serão realizadas de maneira eficaz, garantindo assim que os objetivos do projeto sejam alcançados (DEMEULEMEESTER, HERROELEN, 1996).

No ramo da Construção Civil, o sequenciamento das atividades é uma parte crítica do processo, e, uma vez definidas as atividades que irão integrar o escopo da obra, é necessário estabelecer as relações de precedência entre elas, ou seja, “quem vem antes ou depois de quem”, para, posteriormente, a elaboração do Cronograma da obra (DEMEULEMEESTER, HERROELEN, 1996). Outro ponto relevante é a definição dos recursos necessários e suas respectivas quantidades.

Esse tipo de problema de sequenciamento de atividades e de alocação de recursos é definido na literatura como Problema de Sequenciamento em Projeto com Restrição de Recursos (PSPRR) (*Resource Constrained Project Scheduling Problem*) (BALAS, 1967). Segundo Balas (1967), os PSPRR são alvos de estudos e investigações por pesquisadores há muitos anos e a utilização de ferramentas da Pesquisa Operacional e da Modelagem Matemática tem auxiliado na resolução desses Problemas como uma forma de Planejamento e Controle da Produção.

É com esse intuito que, no presente trabalho, iremos utilizar o modelo matemático proposto por Artigues et. al. (2003), aplicando a Programação Linear Inteira Mista, como uma ferramenta de tomada de decisão em um estudo de caso de uma empresa específica do ramo da construção civil. Pois, através do sequenciamento das atividades e da alocação dos recursos, o *makespan*, ou seja, o tempo total de duração do projeto, é reduzido, promovendo maior lucratividade e entregas mais assertivas para a empresa em questão (ARTIGUES ET AL., 2003).

Dessa forma, a seção 1 apresenta a Introdução, Justificativa e Objetivos. A seção 2, em sequência, irá abordar a Revisão Bibliográfica sobre o tema a ser estudado. Posteriormente, a seção 3 abordará a Metodologia utilizada, apresentando todo o processo de pesquisa da monografia. A seção 4 apresentará os Resultados e Discussões do estudo de caso em questão. A seção 5 apresenta a Conclusão do estudo realizado, mostrando como foi solucionado o problema estudado.

1.1 Justificativa

Para Slack (2009), o Planejamento e Controle da Produção é uma atividade que auxilia na decisão sobre a alocação adequada dos recursos em um determinado processo produtivo, adequando o que o mercado almeja com o que a empresa pode ofertar (lei da oferta e demanda). Neste contexto, o sequenciamento das atividades e a alocação adequada dos recursos são partes importantes do PCP, pois otimizam o controle das atividades a serem executadas e da utilização dos recursos, melhorando, conseqüentemente, o atendimento das demandas do mercado (SLACK, 2009).

Fatores como escassez de tempo, mão de obra, e recursos limitados, podem levar empresas a buscarem meios de melhorar sua produtividade tornando, assim, o seu processo mais eficiente. É neste contexto que surge o estudo do PSPRR, que tem como objetivo definir um sequenciamento das atividades que atenda às restrições de recursos e reduza o tempo de execução do projeto. Dessa forma, o presente trabalho busca estudar o processo de Planejamento de Obras de uma empresa x, localizada em Nova Lima, Minas Gerais, e propor, por meio da Modelagem Matemática e utilização de métodos computacionais, um planejamento mais eficiente no processo analisado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

O objetivo principal do presente trabalho é avaliar e comparar o cronograma de uma determinada obra de reforma da empresa x através da análise e modelagem do processo, como um Problema de Sequenciamento em Projeto com Restrição de Recursos, com a solução computacional para minimizar o *makespan*. Resultando, assim, na validação e garantia do melhor cenário para a execução da obra em questão, no processo de tomada de decisão.

1.2.2 Específicos

Para atingir os objetivos específicos deste trabalho, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Pesquisa bibliográfica acerca de Planejamento e Controle da Produção, Pesquisa Operacional, Modelagem Matemática e o Problema de Sequenciamento de Projetos com Restrição de Recursos;
2. Mapeamento de todo o fluxo de atividades da empresa x, ou seja, entender como funciona o fluxo de informações, o passo a passo do Planejamento de Atividades para execução da obra em questão;
3. Apresentação do Modelo Matemático para o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos para o caso estudado;
4. Aplicação do método computacional, utilizando a linguagem Mathematical Programming Language (MPL) e otimizador GNU Linear Programming Kit (GLPK) para resolução do problema abordado;
5. Análise dos resultados obtidos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Planejamento e Controle da Produção

Segundo Lustosa et al. (2008), a produção de bens de consumo teve início com a Revolução Industrial, período que possibilitou a criação de meios de consumo em massa. Nesse contexto, surgiu o Planejamento e Controle da Produção (PCP), que evoluiu a partir da ciência da Administração, desenvolvida por Frederick W. Taylor e Henri Fayol, na primeira década do século XX.

Dentro destes conceitos, com o aumento da competitividade do mercado de trabalho, surge uma maior busca por ferramentas e técnicas que auxiliem no planejamento e execução dos processos produtivos dentro das empresas (TURBINO, 2007). O PCP, como uma dessas alternativas, tem se tornado, cada vez mais, uma área muito explorada pelas empresas e que, segundo Tubino (2007), fica responsável pela coordenação e aplicação de recursos produtivos a fim de satisfazer da melhor forma os planos que são definidos nos níveis estratégico, tático e operacional.

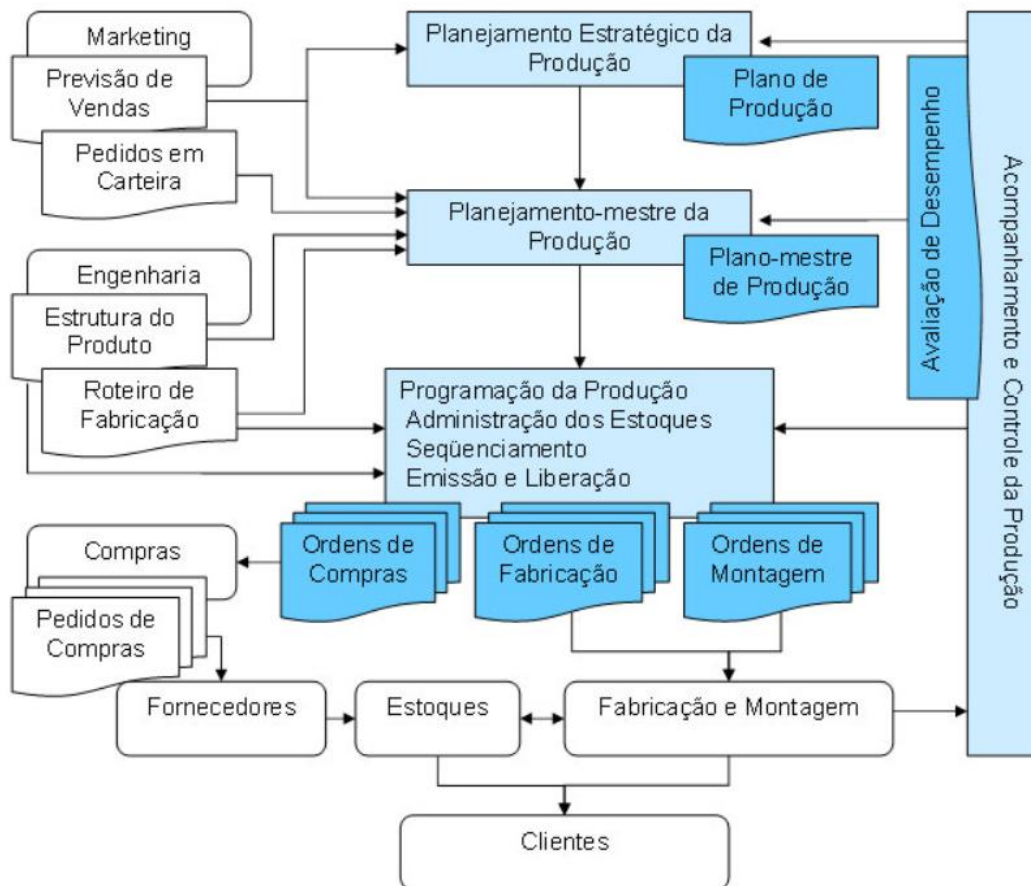
Assim, o Planejamento e Controle da Produção está presente ao longo de todo o processo produtivo, percorrendo todos os setores da empresa e gerindo todas as informações (TURBINO, 2007). Segundo Tubino (2007), para que o PCP atinja seus objetivos, é necessária a gestão de informação de diversas áreas do sistema produtivo, como a Engenharia do Produto, Engenharia de Processos, Marketing, Manutenção, Compras/Suprimentos, Recursos Humanos e Finanças, interagindo, direta e indiretamente, com todas as funções do sistema.

Segundo Chiavenato (2022), o PCP tem como finalidade planejar e controlar o processo de produção de bens ou mercadorias, controlando matérias primas necessárias, quantidade de mão de obra, máquinas e equipamentos e também do estoque de produtos acabados disponíveis, a fim de melhor atender à demanda dos clientes.

Segundo Tubino (2007), o fluxo de informações das atividades do PCP é representado na Figura 1. Conforme ilustrado, o PCP atua nos três níveis hierárquicos. No estratégico, são definidas as políticas estratégicas a longo prazo e definição do *Planejamento Estratégico da Produção*. No nível tático, são definidos planos de médio prazo, desenvolvendo o *Planejamento-mestre* da produção. Por fim, no nível operacional são definidos programas de curto prazo e acompanhamentos dos processos, onde o PCP prepara a *Programação da Produção*, que abrange administração de estoques, sequenciamento e emissão de ordens de

compra, fabricação, montagem e execução do *Acompanhamento e Controle de Produção* (TURBINO, 2007).

Figura 1- Fluxo de informações e PCP



Fonte: TUBINO (2007)

O principal objetivo do PCP é garantir que as peças e produtos sejam produzidos de modo a atingir o Programa Mestre da Produção (MPS), este, declara o número de cada produto a ser produzido em um determinado período (BONNEY, 2000). Através do PCP, podemos prever “quanto” e “quando” devemos produzir e como devemos alocar os recursos disponíveis para atender as demandas necessárias de todo o processo produtivo (BONNEY, 2000).

Desse modo, podemos perceber que o Planejamento e Controle da Produção se faz indispensável quando falamos de gerenciamento de projetos de um determinado empreendimento (Gray et al., 2009). Ainda segundo Gray et al. (2009), o Planejamento vai aumentar os níveis de esforços e planos que serão desenvolvidos para determinar o que o projeto

deverá abranger, quando será programado, a quem beneficiará e qual o nível de qualidade que deverá ser mantido, tal como qual será o orçamento para o projeto.

2.2 Gerenciamento de Projetos

Conforme Gray et al (2009), um projeto pode ser definido como um esforço único, complexo e não rotineiro com limitação de tempo, orçamento, recursos e critérios de desempenho que são estabelecidos de acordo com as necessidades do cliente. Portanto, o objetivo principal de um projeto é a satisfação das necessidades do cliente.

Nesse contexto, com a atual competitividade do mercado e necessidade de fidelização dos clientes, o Gerenciamento de Projetos vem como uma alternativa de aprimorar e acompanhar todas as atividades rotineiras realizadas em uma organização (KERZNER, 2018). De acordo com Kerzner (2018), atualmente, a Gestão de Projetos é considerada um meio de criação de *deliverables* que geram valor e benefício aos negócios. Nos últimos anos, houve um crescimento significativo da necessidade de aprimorar práticas relacionadas à Gestão de Projetos (Gray et al., 2009). Para Gray et al (2009), são benefícios do gerenciamento de projetos:

1. Conecta a seleção do projeto com os padrões estratégicos estabelecidos;
2. Prioriza as propostas do projeto conforme um conjunto de critérios comuns;
3. Realiza a alocação de recursos, seguindo a direção estratégica;
4. Equilibra riscos entre os projetos;
5. Aprimora a comunicação e dá suporte ao entendimento das metas do projeto;

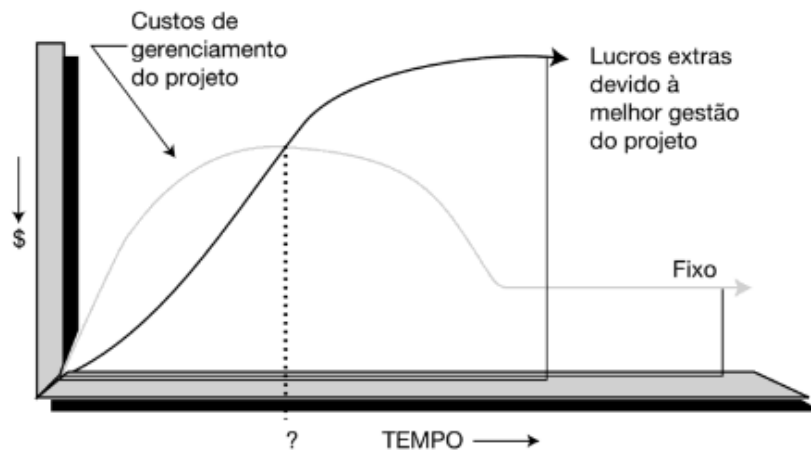
Logo, o gerenciamento de projetos é uma etapa indispensável no processo de planejamento de qualquer empreendimento, visto que auxilia nas tomadas de decisão e impacta diretamente no desempenho dos processos de uma empresa (GRAY ET AL., 2009). Segundo Keeling (2002), o gerenciamento de projetos envolve a utilização de uma boa base para definição e planejamento de todo o trabalho que será realizado, coloca o plano em prática e, logo após, verifica e controla o desempenho da execução, garantindo que as especificações sejam entregues ao final do projeto.

Segundo Keeling (2002), o gerente de projetos precisa ter conhecimentos em três áreas de habilidades: 1) orgânicas de administração; 2) conhecimento profissional especializado e 3) conhecimento mecânico. Sendo assim, podemos observar que o gerenciamento de um projeto

está diretamente ligado ao sucesso de seus processos (KEELING, 2002). Conforme Pilar (2009), cada empreendimento possui realidade única, portanto a sua gestão pode ser entendida através da Gestão de Projetos.

Fica claro que o Gerenciamento de Projetos promove, a longo prazo, benefícios quando falamos na redução de custos para as organizações, conforme demonstra a Figura 2 (KERZNER, 2018).

Figura 2 - Custos versus benefícios da Gestão de Projetos.



Fonte: KERZNER (2018)

Para Kerzner (2019), o Gerenciamento de Projetos em conjunto com sistemas de suporte para planejamento, cronograma e controle vão impactar diretamente nos custos do projeto, estes irão se estabilizar e se tornar fixos à medida ocorra uma boa gestão de projetos. O ponto de interrogação na Figura 2 representa o ponto em que os benefícios se igualam ao custo de implementação. Esse ponto pode ser empurrado para a esquerda por meio de treinamentos e educação (KERZNER, 2018).

O Gerente de Projetos é o responsável pelo monitoramento e acompanhamento de todo o projeto, e deve ser designado antes do início do projeto e ter suas atribuições bem definidas (GRAY ET AL., 2009). Conforme Gray et al. (2009), o que torna um Gerente de Projetos único é que estes gerenciam atividades temporárias e não repetitivas para completar um projeto com duração fixa. Os Gerentes de Projeto devem definir o que e como as coisas devem ser feitas e ir ao encontro de desafios de cada fase do ciclo de vida do projeto.

Ainda conforme Gray et al (2009), uma das principais atribuições dos Gerentes de Projetos é administrar conflitos entre tempo, custo e desempenho. Para isso, deve-se definir e compreender as prioridades do projeto. Se faz necessário um diálogo claro com o cliente e a alta direção, definindo assim a importância de cada critério (GRAY ET AL., 2009).

A interação do Gerente de Projetos com os demais grupos da equipe também se faz extremamente importante para o sucesso de um projeto (GRAY ET AL., 2009). A cooperação de toda equipe, de forma a construir confiança, é extremamente importante visto que um projeto é composto por pequenas partes, nenhuma mais importante que outra (GRAY ET AL., 2009).

Nesse contexto, surge a diretoria de projetos que, conforme Candido et al. (2012), possui objetivo de gerenciar equipes de forma mais eficiente, promovendo uma maior interação entre a alta gerência e parceiros, sejam eles fornecedores, contratantes, contratados, consultores e colaboradores da organização.

Em Obras Civis, o Gerenciamento de Projetos é uma ferramenta muito utilizada, uma vez que envolve uma ampla gama de atividades que tem como objetivo gerir processos e pessoas (Candido et al., 2012). Conforme Mattos (2010), gerenciar uma obra de forma adequadamente não é fácil, sendo o *planejamento* de uma obra uma das principais características do gerenciamento, que é um conjunto amplo que envolve orçamentos, compras, gestão de pessoas, comunicação, entre outros.

2.1.1 Gerenciamento de Projetos na Construção Civil

Como abordado anteriormente, é possível perceber qual a importância da Gestão de Projetos para as organizações e seus impactos positivos no gerenciamento de processos, principalmente, no desempenho das organizações (MATTOS, 2010).

Segundo Marco Antonio Portugal (2017), a definição de projeto para a construção civil pode ser resumida como um conjunto de informações impressas abrangendo cálculos, textos e desenhos, como também especificações e todo o referencial técnico que será necessário para definição do que será construído e como deve ser executado.

Como aponta Mattos (2010), a Gestão de Projetos no ramo da construção civil é extremamente importante, visto que proporciona uma visão global da obra promovendo ao profissional um estudo de todos os projetos, além de uma análise profunda do modelo escolhido

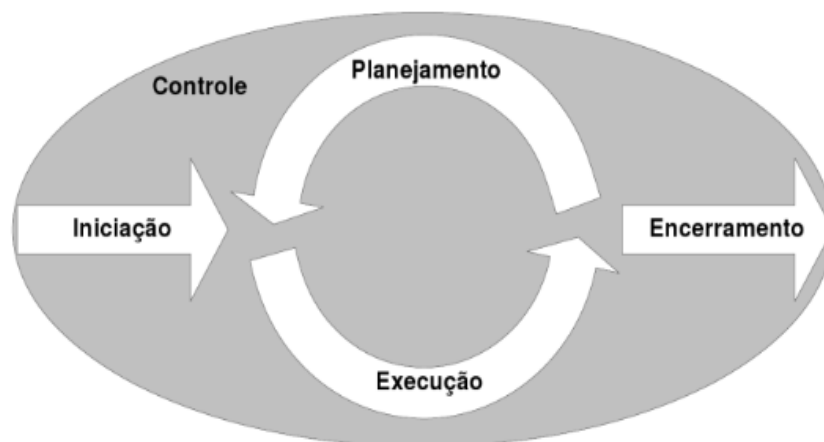
e a determinação de períodos a serem trabalhados em cada frente serviço, tal como a elaboração do cronograma de obras (como duração das atividades e folgas, por exemplo).

Os profissionais do ramo da construção civil, em especial o engenheiro civil e o arquiteto, ficam responsáveis pela execução e direção técnica de obras, supervisionando e orientando a execução do projeto (CONFEA, 1973). Aos demais envolvidos no processo, nos diferentes níveis hierárquicos (gestor de contratos, supervisor de obras, encarregado civil, analista de planejamento, analista de medição, entre outros) cabem atribuições como realização de orçamentos, realização de cronograma de obras, compra de materiais, direcionamento da equipe, entre outras (CONFEA, 1973).

Geralmente as obras presentes no ramo da construção civil possuem datas e recursos bem definidos, portanto, é dever do Gestor de Projetos planejar as atividades para que tudo saia como definido inicialmente no projeto (MELO, 2012). Para que um projeto tenha sucesso em sua execução, seja qual for sua complexidade, se faz necessária a elaboração do Plano de Gerenciamento do Projeto que, segundo Melo (2012), o serve como um guia, nele estarão definidas especificações de como será a execução do projeto, como ele será monitorado, controlado e finalizado.

Segundo Cândido et al. (2012), o fluxo de processos de um projeto pode ser representado de acordo com a Figura 3.

Figura 3 - Fases do ciclo de vida de um projeto



Fonte: VARGAS (2005)

Segundo Vargas (2005), o número de fases de um projeto pode variar entre quatro e nove fases características. Para efeito didático são consideradas 5 fases características do ciclo de vida de um projeto, são elas:

1. **Fase de Iniciação** - Fase inicial do projeto, necessidades são identificadas para estruturação de um problema a ser resolvido. São definidos os objetivos do projeto e as melhores estratégias para executá-lo;
2. **Fase de Planejamento** - Fase responsável por detalhar tudo o que será realizado, incluindo elaboração de cronogramas, sequenciamento de atividades, alocação de recursos, análise de custos, entre outros;
3. **Fase de Execução** - Fase responsável por concretizar tudo o que foi planejado previamente. Nesta fase, podem surgir erros cometidos nas fases anteriores. Grande parte do orçamento e esforço do projeto são consumidos nesta fase;
4. **Fase de Monitoramento e Controle** - Fase que acontece paralelamente ao planejamento. Seu objetivo é acompanhar e controlar todo o processo de modo a propor ações corretivas e preventivas no menor tempo possível após a detecção do problema;
5. **Fase de Encerramento** - Fase onde são avaliados os trabalhos através de uma auditoria interna ou externa (por terceiros), documentos do projeto são encerrados e as falhas identificadas durante o projeto são discutidas e analisadas para evitar que erros similares possam vir a acontecer em novos projetos;

Ainda segundo Vargas (2005), para que um projeto seja bem sucedido, é necessário descrever com detalhes todas as atividades de seu escopo, detalhando cada processo e quais os recursos serão necessários para executá-los. Para definição deste escopo, o Gerente de Projetos precisa inicialmente tomar conhecimento de tudo o que será feito no projeto, bem como todos os requisitos necessários para o sucesso do mesmo (VARGAS, 2005).

Conforme Cândido et al. (2012), na fase inicial de um projeto, é realizado o levantamento de todas as necessidades físicas, financeiras e de pessoal. Essas informações serão analisadas pela alta gerência, para aprovação ou reprovação da execução do projeto. O planejamento se faz essencial, nesta etapa. Segundo o mesmo autor, para que os objetivos do projeto sejam concretizados, é realizado o Plano de Gerenciamento de Projetos (*Project Charter*), contemplando todos os processos de gerenciamento.

2.2 Planejamento de Obras Civis

O ramo da construção civil tem se tornado cada vez mais competitivo em consequência do surgimento de novos sistemas e métodos, aumento de novas tecnologias e necessidade de fidelização do cliente (Mattos, 2019). Neste cenário, o planejamento se faz presente em todas as etapas do processo. “A deficiência no planejamento e no controle estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor, de suas elevadas perdas e baixa qualidade de seus produtos” (ALDO DÓREA MATTOS, 2019, p.13).

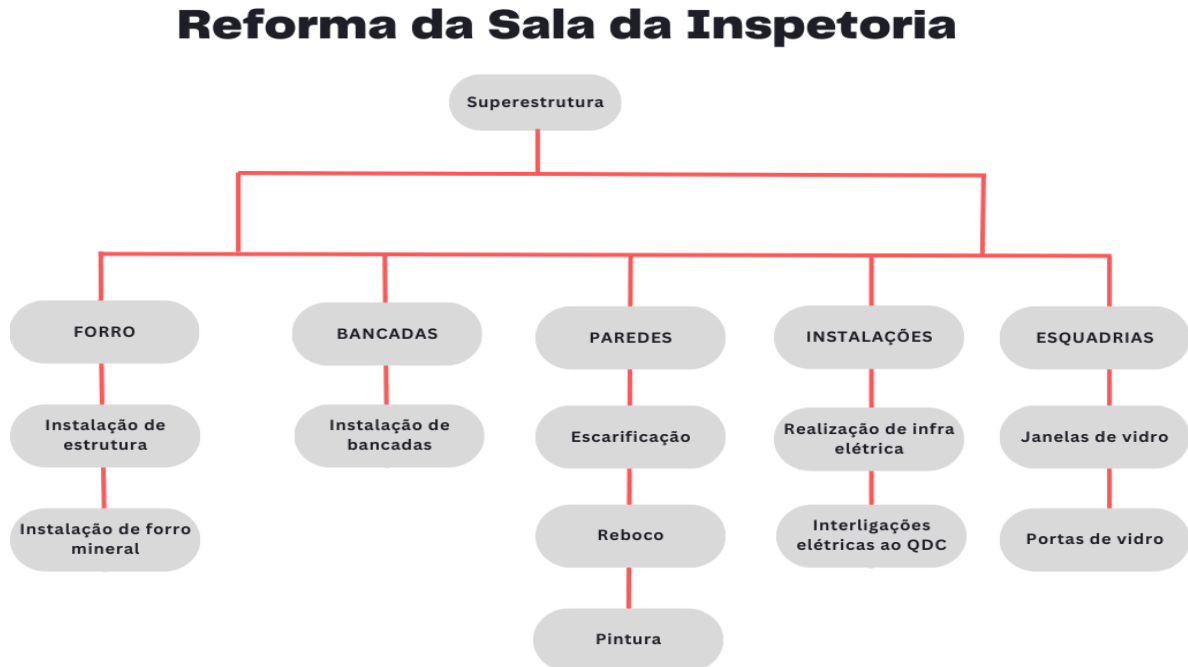
Para iniciar um determinado projeto, é necessário definir o escopo da obra a ser realizada, bem como o roteiro de planejamento das atividades (MATTOS, 2009). Segundo Mattos (2009), o roteiro de planejamento das atividades conta com os seguintes passos:

- Identificação das atividades;
- Definição das durações;
- Definições de relações de precedência;
- Identificação de caminho crítico;
- Geração de cronograma e cálculo de folgas;

Após a definição do roteiro do planejamento, se faz necessário o detalhamento de todas as atividades do projeto a serem realizadas, estes dados serão úteis futuramente na elaboração do Cronograma de Atividades do Projeto (MATTOS, 2010). Segundo Mattos (2010), a maneira mais prática de identificar as atividades a serem executadas é através da elaboração da Estrutura Analítica do Projeto (também conhecida como EAP). Esta possui estrutura hierárquica e segrega as atividades totais da obra em partes menores. Ainda segundo Mattos (2010), a elaboração da EAP pode otimizar o processo de desenvolvimento dos serviços, fazendo com que as atividades do projeto sejam identificadas com facilidade e alteradas, caso seja necessário.

De acordo com Maury Melo (2012), definir a EAP é subdividir as entregas do projeto em componentes menores. Esta ferramenta se trata de uma decomposição hierárquica, levando em consideração as entregas a serem feitas e as atividades a serem executadas. Cada nível da EAP representa uma definição detalhada do projeto. A figura 4, a seguir, representa um exemplo de EAP.

Figura 4 - EAP para a reforma da Sala da Inspetoria



Fonte: Autoria própria (2023).

O fluxograma apresentado na Figura 4 descreve a EAP do processo de reforma da Sala da Inspetoria de uma determinada empresa x, e detalha todas as atividades que serão realizadas, de forma a detalhar todas as tarefas do escopo. O detalhamento das atividades é importante visto que as informações extraídas da EAP serão indispensáveis para a elaboração do cronograma (MAURY MELO, 2012).

Após todas as informações obtidas na elaboração da EAP, inicia-se a realização do Cronograma de Atividades do projeto, que conta com informações como: prazo da obra; duração das atividades (bem como início e término); e alocação de recursos (MAURY MELO, 2012). Neste cronograma, define-se também o sequenciamento das atividades e as relações de precedência entre elas (NOGUEIRA, 2013).

Conforme Nogueira (2013), para elaboração do Cronograma de Atividades são necessários os seguintes requisitos:

- Desmembramento das atividades por meio da EAP (Estrutura Analítica do Projeto);

- Definição das durações das atividades do cronograma, considerando os índices de produtividade da empresa;
- Definição de relacionamento entre as atividades do cronograma segundo os tipos de vínculo (término-início; início-início; término-término; início-término);
- Atribuição de recursos às atividades, considerando os recursos disponíveis e definidos previamente no contrato.

Segundo Mattos (2010), uma vez definida toda a Estrutura Analítica do Processo (EAP), é necessário definir quais serão as durações das atividades do projeto. Segundo Mattos (2019), toda atividade presente no Cronograma de Atividades precisa ter uma duração. Podemos definir como duração a quantidade de tempo (em horas, dias, semanas ou meses) que uma atividade levará para ser realizada (MATTOS, 2019).

Esta definição da duração das atividades pode ser feita por meio de cálculos ou estimativas, ou seja, pode-se considerar que um determinado projeto possui atividades rotineiras, e que sua duração já é habitualmente conhecida, sendo assim possível definir suas respectivas durações por meio de conhecimento tático (MATTOS, 2019).

Em outros casos, a definição da duração de atividades pode ser feita por meio de uma planilha de Composição de Preços Unitários, como demonstra a tabela 1 (MATTOS, 2019).

Tabela 1 - Tabela de composição para realização de forma

ITEM: 01.000032.CPU		UN: M2		
SER.CG: FORMA PLANA COM TÁBUA DE MADEIRA PARA ESTRUTURA, INCLUSIVE ESCORAMENTO DE ESTRUTURAS VERTICAIS				
MÃO DE OBRA	UN	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL
Ajudante	H	0,780000000	17,79	13,88
Carpinteiro	H	3,195000000	25,02	79,94
TOTAL (A)				93,82
MATERIAL/SUB-CONTRATADO	UN	COEF.	CUSTO UNIT.	CUSTO TOTAL
Prego com cabeça dupla 17 x 27, 62,1 mm x Ø 3,0 mm	KG	0,100000000	22,84	2,28
Desmoldante de formas de madeira para concreto	L	0,100000000	16,01	1,60
Tábua de pinus serrada 30 cm	M2	1,300000000	53,58	69,65
Prego com cabeça 17 x 21, 48 mm x Ø 3,0 mm	KG	0,180000000	15,01	2,70
Aço CA-50 Ø 10,0 mm em barra, massa nominal 0,617 kg/m	KG	0,110000000	10,33	1,14
Sarrafo 1" x 3"	M	3,750000000	5,40	20,25
TOTAL (C)				97,63
CUSTO DIRETO TOTAL				191,44
BDI 39,72%				76,04
PREÇO UNITÁRIO TOTAL				267,48
QUANTIDADE: 1,00				TOTAL: 267,48

Fonte: Autoria própria (2023).

Pela Composição de Preços Unitários apresentada acima podemos facilmente identificar qual a quantidade de recursos e matéria prima necessária e seus respectivos custos para a realização de uma atividade que esteja dentro do escopo do projeto, sendo assim, a quantidade de recursos irá impactar diretamente na duração da atividade (MATTOS, 2019). Deste modo, fica mais fácil antever o que será necessário para iniciar as atividades, bem como a elaboração de cronograma de atuação para a demanda, auxiliando assim no planejamento das atividades (MATTOS, 2019).

O sequenciamento das atividades é um fator fundamental no Cronograma de Atividades e, de acordo com Koskela et al (1997), surge com a necessidade de possibilitar a realização do planejamento de processos do projeto, definindo então a sequência das atividades e a quantidade de trabalho que será adequada a capacidade de produção.

Segundo Barcaui et al. (2019), através do sequenciamento, podemos identificar as diversas relações lógicas entre as atividades, definindo as relações de precedência adequadas. Assim, é necessário documentar todos os tipos de relacionamento, bem como todas as exigências necessárias para que o cronograma se torne o mais próximo da realidade (BARCAUI ET AL., 2019).

O sequenciamento de atividades auxilia nas tomadas de decisão da empresa e cumprimento de prazos estabelecidos pelos clientes (BARCAUI ET AL., 2019). Segundo Correa et al. (2006), o sequenciamento de atividades consiste em decidir quais atividades produtivas devem ser realizadas, quando e com quais recursos, a fim de atender a demanda informada ou através do MPS (*Master Production Scheduling*, ou Plano Mestre de Produção).

Para Tubino (2007), o sequenciamento das atividades está diretamente ligado à alocação dos recursos disponíveis para que se possa garantir a data de conclusão do projeto. Esta data, junto dos custos e aptidões técnicas, são fatores determinantes na execução do projeto (TURBINO, 2007).

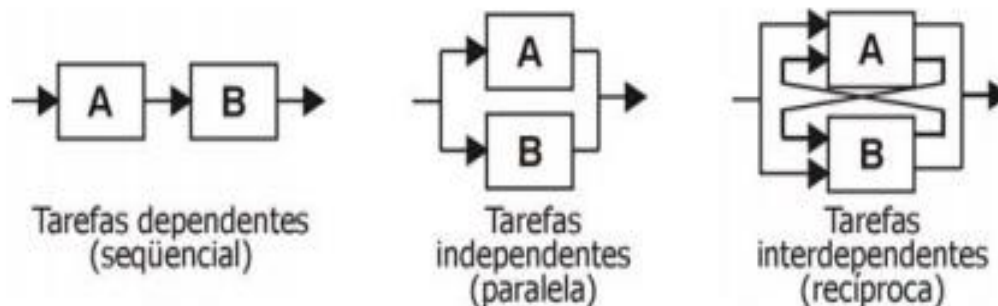
Dessa forma, para que seja elaborado o Cronograma de Atividades, é necessário estabelecer a relação de precedência entre as atividades do projeto (MATTOS, 2009). Segundo Mattos (2009), é preciso definir a sequência das atividades, a ordem em que elas ocorrem e quais os tipos de dependência existentes entre elas. Esta sequência lógica entre as atividades do projeto é denominada como precedência (MATTOS, 2009).

Essas relações de precedência são obrigatoriamente consideradas no projeto e representadas no diagrama de rede, que irá retratar todo o sequenciamento das atividades por meio da representação gráfica (MATTOS, 2009). No diagrama de rede, as atividades são representadas, graficamente, por nós e as relações entre elas, por setas. Logo, o diagrama de rede é a representação visual de todo o projeto (MATTOS, 2009).

Conforme retrata Ulrich (2000) e Austin et al. (1994), podemos citar três relações de dependência entre as tarefas de um projeto, que são mostradas na Figura 5.

- 1) Dependência sequencial: esta apresenta uma ordem sequencial para execução das atividades, isso implica que a atividade posterior só pode ser iniciada com a conclusão da antecessora;
- 2) Dependência paralela: duas atividades não têm dependência entre elas e podem ser executadas simultaneamente, ou seja, ao mesmo tempo;
- 3) Interdependência ou dependência recíproca: atividades são reciprocamente dependentes, ou seja, é necessário o resultado da outra atividade para sua conclusão. Estas, devem ser executadas simultaneamente com troca contínua de informações, ou de modo interativo;

Figura 5 - Relações de dependência entre as atividades de um projeto



Fonte: AUSTIN et al. (1994)

Com todas as informações acima definidas (atividades, suas durações, as relações de precedência e o diagrama de rede) inicia-se o processo de definição do prazo total do projeto (MATTOS, 2009). Segundo Mattos (2009), se todas as atividades estivessem em série, bastaria apenas somar a duração de todas elas para determinar a duração total do projeto. Entretanto, há relações de precedência entre elas, e, portanto, o processo não é tão simples (MATTOS, 2009).

Para a elaboração do cronograma, segundo González (2008), pode-se utilizar o Diagrama de Gantt, que é um gráfico de barras horizontais, onde cada atividade é representada por uma barra e o tamanho dessa barra corresponde a sua duração.

De acordo com Young (2008), o Diagrama de Gantt é constituído por duas etapas. A primeira etapa é a definição de todas as atividades que irão compor o projeto, seguido pelos seus tempos de execução e as relações de precedências entre elas (YOUNG, 2008). A etapa seguinte consiste em ordenar essas atividades, ou seja, estabelecer uma sequência de execução entre elas que respeitem as precedências estabelecidas. Isso é realizado através do lançamento das atividades no diagrama (YOUNG, 2008).

Nesse contexto, a determinação da duração das atividades está diretamente relacionada com a alocação dos recursos. Isso se dá devido ao fato de que é necessário gerar uma combinação das datas de início de cada atividade, de tal forma que a quantidade total de recursos disponíveis não seja ultrapassada em nenhum período de tempo (YOUNG, 2008).

Na prática, tais atividades necessitam de vários tipos diferentes de recursos que existem em quantidade limitada, esses recursos podem ser pessoas, matérias-primas, máquinas ou equipamentos necessários para a execução da atividade (YOUNG, 2008).

Segundo Patersson et al (1990) os recursos podem ser divididos em três classes principais, são elas:

1. Renovável: é limitado em quantidade e pode ser reutilizado ao longo do projeto. De acordo com Blazewicz (1983), máquinas e mão-de-obra caracterizam tal classe;
2. Não Renovável: quando a quantidade total do recurso analisado é limitada para o projeto como um todo, não havendo renovação durante o tempo. A utilização desse recurso, ao longo do projeto, implica na redução de sua disponibilidade. Slowinski (1981) cita matéria-prima e capital financeiro como exemplos desse grupo;
3. Duplamente Restrito: quando o recurso considerado é limitado duplamente, ou seja, na soma total e no projeto como um todo. Um exemplo dessa categoria é o capital financeiro se, tanto o orçamento do projeto, quanto a utilização do dinheiro ao longo do tempo, estiverem limitados. (KOLISCH e SPRECHER, 1997). Dessa forma, ainda de acordo com Kolisch e Sprecher (1997), podem ocorrer duas situações em um processo de alocação de recursos:
 - a. A oferta ser maior que a demanda, e neste caso, os recursos não são considerados fatores de restrição na implementação do projeto;

- b. A demanda ser maior que a oferta em uma ou mais unidades de tempo, assim o recurso se torna limitante na execução do projeto.

Podemos concluir então que a dependência entre atividades e alocação de recursos determina o sequenciamento das atividades e, conseqüentemente, a duração total do projeto (KOLISCH e SPRECHER, 1997).

Uma das formas para tratar problemas desse tipo é através da Pesquisa Operacional, área que utiliza métodos matemáticos eficientes para auxílio do processo de tomada de decisões. A Pesquisa Operacional se faz extremamente importante neste processo, visto que tem como objetivo obter a solução para o problema a ser estudado, promovendo assim uma maior assertividade do processo (KOLISCH e SPRECHER, 1997).

2.3 Pesquisa Operacional

Advindo da Revolução Industrial, os processos industriais passam a crescer e se tornar mais complexos, envolvendo um maior número de atividades e recursos a serem alocados. Desse modo, passam a surgir novos problemas, conseqüências da divisão do trabalho nas organizações (LIEBERMAN, 2012).

Esse período pós guerra foi marcado pelo surgimento de modelos matemáticos e ferramentas computacionais digitais, é neste contexto que surge a Pesquisa Operacional, que conta com técnicas que vão aprimorar as tomadas de decisão (LIEBERMAN, 2012).

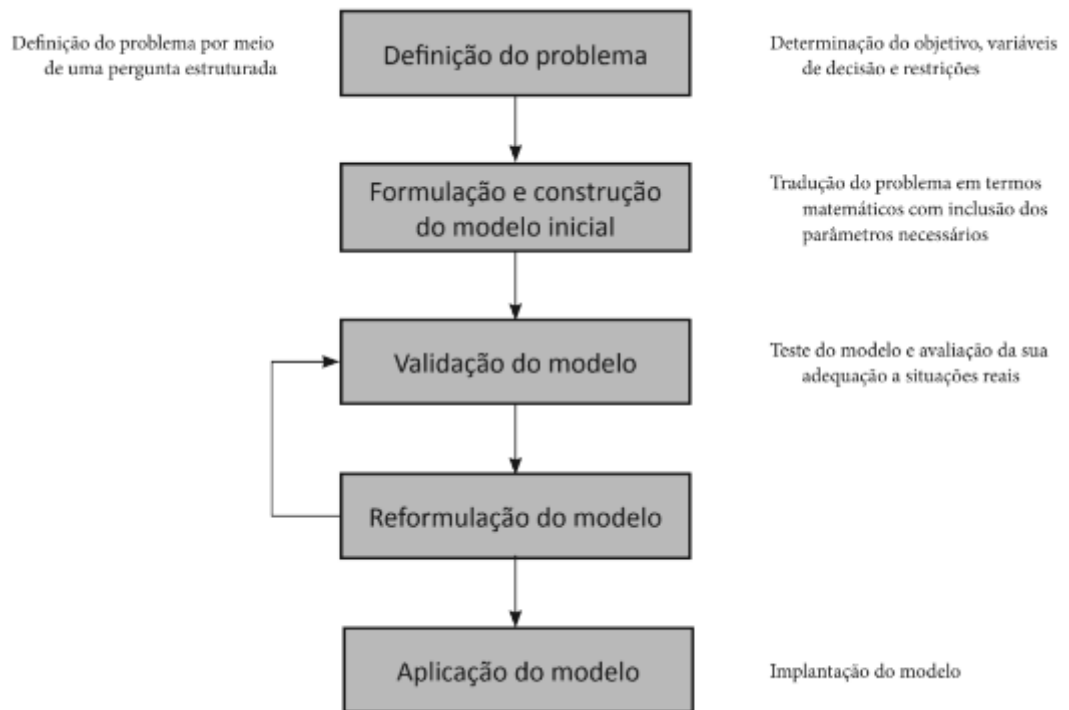
“Um problema decorrente, é que, à medida que aumentam a complexidade e a especialização, torna-se cada vez mais difícil alocar os recursos disponíveis para as diversas atividades de maneira mais eficiente a toda a organização. Esses tipos de problema e a necessidade de encontrar o melhor caminho para solucioná-los criaram as condições necessárias para o surgimento da Pesquisa Operacional, comumente referida como PO” (LIEBERMAN, 2012).

Conforme Lieberman (2012), o ramo da Pesquisa Operacional envolve “pesquisar sobre operações”, sendo aplicada a problemas que envolvem como conduzir e coordenar *operações* em uma organização. A PO tem como objetivo encontrar a melhor solução para o problema a ser considerado (LIEBERMAN, 2012).

A utilização de modelos matemáticos para representar uma situação real é uma ferramenta da PO que tem como objetivo ajudar no processo de tomada de decisão. Para Abensur (2018), na modelagem matemática o objetivo é reproduzir a realidade utilizando

simbolismo matemático, possuindo uma estrutura que resume as principais características do problema a ser estudado. O fluxo de informações da modelagem matemática segue o seguinte esquema, apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Fluxo lógico da modelagem matemática



Fonte: ABENSUR (2018)

Para o mesmo autor, o processo de formulação e resolução de um problema de Pesquisa Operacional segue os seguintes passos:

1. Definição do problema: essa fase consiste na representação da realidade empírica para sentenças lógicas e dados objetivos, sendo possível estabelecer um modelo matemático;
2. Formulação e construção do modelo inicial: analisar e resolver o problema por meio de algoritmos específicos. Essa solução, atenta aos métodos numéricos em computação, sugere uma tomada de decisão;
3. Validação do modelo: essa fase conta com a validação do problema;
4. Reformulação: caso o problema não seja validado, se faz necessária uma reformulação do mesmo, a este processo se dá o nome de modelagem;
5. Aplicação: implementação do modelo desenvolvido.

Pode-se concluir então que a utilização da Modelagem Matemática se faz de extrema importância, visto que auxilia a organização a atingir seus objetivos de uma forma mais

eficiente. Esta, promove melhorias e padronização nos processos, reduzindo assim, os riscos de falhas (ABENSUR, 2018).

2.3.1 Modelagem Matemática

A Modelagem Matemática tem sido uma ferramenta muito eficaz para a resolução de problemas que envolvem processos produtivos e tem como objetivo analisar e comparar modelos de otimização, a fim de encontrar a solução ótima para o problema em questão (ARENALES ET AL., 2015). Dentro da Modelagem Matemática podemos citar a Programação Linear e, segundo Arenales et al. (2015), a aplicação da Programação Linear, utilizando de modelos matemáticos, possibilita a obtenção do melhor resultado para um determinado problema de decisão tratado em um espaço de dimensões finitas.

Para Rodrigues et al. (2014) a Programação Linear é uma ferramenta de gerenciamento muito importante, visto que auxilia nas tomadas de decisões e além de ser utilizada para otimizar, maximizar/minimizar o resultado geral da organização. São inúmeros benefícios proporcionados pela utilização de técnicas de Programação Linear, como por exemplo, maior assertividade nas decisões, otimização dos recursos e auxílio no melhor planejamento de atividades (RODRIGUES ET AL., 2014).

Segundo Colin (2007), a Programação Linear é uma técnica extremamente poderosa dentre as ferramentas gerenciais disponíveis, já que há segurança relativamente grande de não existir outra solução melhor quando a modelagem e a solução são apropriadas. As pessoas que se utilizam dessa técnica frequentemente a veem como uma condição essencial para a lucratividade e sobrevivência no longo prazo, enquanto os usuários que a utilizam com menor frequência encontram no método fontes de vantagem competitiva duradoura (TAHA, 2008). O campo de aplicação é extenso, se fazendo presente em: organização de transportes e estoques, estudos de fluxos de caixa, investimentos e sistemas de informações, além dos clássicos problemas de produção e de mistura de componentes (TAHA, 2008).

Conforme Prado (2016), são vantagens da utilização da Programação Linear:

- Identificação de gargalos nas linhas de produção;
- Fornecimento de diretrizes para expansão;
- Possibilita a avaliação de aplicabilidade de uma pesquisa para maior compreensão do problema;

- Identificação das melhores opções em estudos de qualidade total.

Dentre os modelos matemáticos para representar um problema de Planejamento e Gestão de Projetos podemos considerar o modelo do Problema de Sequenciamento em Projeto com Restrição de Recursos.

2.4 Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR)

O PSPRR consiste no sequenciamento das atividades de um projeto, alocando os recursos necessários em cada atividade, com o intuito de minimizar o tempo total de execução desse projeto (BRUCKER ET AL., 1999). O sequenciamento das atividades deve respeitar as relações tecnológicas de execução, que são previamente definidas de acordo com as relações de precedência entre as atividades. De acordo com Brucker et al. (1999), outro fator importante a ser respeitado nesse sequenciamento é a alocação dos recursos necessários para a execução das atividades que não pode exceder o número total de recursos disponíveis no horizonte do projeto.

O Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR) é definido, matematicamente, por Brucker et al. (1999), por um conjunto V de atividades, ($i = 1, 2, \dots, n$) e um conjunto R de recursos renováveis ($r = 1, \dots, m$). Cada tipo de recurso está disponível em uma quantidade constante de unidades (R_k) e cada atividade i do projeto necessita de uma quantidade constante do recurso (rik) para ser executada. A atividade i é executada sem ser interrompida em p_i unidades de tempo (BRUCKER ET AL., 1999). Os valores de R_k , rik e p_i são valores positivos ou nulos e algumas relações de precedência entre as atividades são definidas a priori. O objetivo é minimizar a duração total do projeto, determinando a data de início de cada atividade do mesmo, respeitando as limitações de recursos e atendendo todas as relações de precedência definidas a priori (BRUCKER ET AL., 1999).

Todas as atividades do projeto possuem um tempo previsto para serem executadas e algumas só podem ser executadas após a execução de outras, configurando assim as relações de precedência, considerando os recursos financeiros, humanos ou de maquinários (BRUCKER ET AL., 1999). Nesse sentido, o objetivo de um Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recurso é, de forma generalizada, otimizar algum critério (custos, tempo de

execução de atividades ou data de entrega, por exemplo), obedecendo as relações de precedência, assim como a disponibilidade de recursos (BRUCKER ET AL., 1999).

Segundo Rezende et al. (2019), o PSPRR é composto por um conjunto de atividades que devem seguir uma relação de precedência definida no processo real. Porém, para a viabilidade de tal problema é necessário considerar as quantidades de recursos disponíveis para a realização dos processos, visando diminuir o tempo total de duração do projeto. Além disso, são considerados, também, os custos relacionados aos recursos necessários para a execução das atividades (REZENDE ET AL., 2019).

Vários autores propuseram modelos de Programação Matemática para o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR) como, por exemplo, Artigues et al. (2003), Brucker e Knust (2000) e Carlier e Néron (2003).

Desse modo, o estudo a respeito do PSPRR se mostra relevante em diversos recortes no âmbito acadêmico, se estendendo também para o âmbito empresarial, principalmente para os profissionais responsáveis pelo Gerenciamento de Projetos e para todos os pesquisadores relacionados a essa área. Tal importância se deve ao fato de que esse problema é comum em diversas situações reais em que é necessária a tomada de decisão (REZENDE ET AL., 2019).

2.4.1 Modelo Matemático

Existem algumas propostas de modelos de Programação Linear para o PSPRR. Artigues, et al. (2003) propôs um modelo matemático, e tal formulação está representada pelas equações (1) a (9). Anteriormente, porém, é necessário definir alguns termos, conforme segue:

$V = \{1, 2, \dots, n\}$ é o conjunto das n atividades do projeto;

$R = \{1, 2, \dots, m\}$ é conjunto dos m recursos renováveis;

E é o conjunto das relações de precedência entre as atividades do projeto e estabelece que entre duas atividades (i, j) que possuem esta relação, a atividade j só pode ser iniciada após a conclusão da atividade i ;

As letras s e t representam atividades fictícias que representam, respectivamente, o início e o fim do projeto;

r_{ik} é a quantidade do recurso renovável k que a atividade i necessita para ser executada;

R_k é a quantidade total do recurso k disponível no projeto;

p_i é o tempo de processamento (duração) da atividade i ;

M e N são constantes arbitrárias grandes;

f_{ijk} é o fluxo do recurso k da atividade i para a atividade j ;

x_{ij} é uma variável binária que estabelece:

se for 0, a atividade i não tem relação de precedência com a atividade j ,

se for 1, a atividade i tem relação de precedência com a atividade j .

S_i é a data de início da atividade i ;

S_t é a data de início da atividade fictícia final t ;

A formulação proposta por Artigues et al. (2003) é:

$$\min S_t \quad (1)$$

Sujeito a:

$$x_{ij} = 1 \quad \forall (i, j) \in E \quad (2)$$

$$S_j - S_i - Mx_{ij} \geq p_i - M \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\} \quad (3)$$

$$f_{ijk} - Nx_{ij} \leq 0 \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\}, \forall k \in R \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V \cup \{t\}} f_{ijk} = r_{ik} \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall k \in R \quad (5)$$

$$\sum_{i \in V \cup \{s\}} f_{ijk} = r_{jk} \quad \forall j \in V \cup \{t\}, \forall k \in R \quad (6)$$

$$S_t \geq S_i + p_i \quad \forall i \in V \quad (7)$$

$$S_i \geq 0 \quad \forall i \in V \cup \{s\} \quad (8)$$

$$f_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\}, \forall k \in R \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in V \cup \{s\}, \forall j \in V \cup \{t\} \quad (10)$$

Ainda de acordo com Artigues et al. (2003): A equação (1) apresenta o objetivo do problema: minimizar a data de início da atividade fictícia final, que corresponde em minimizar a duração total do projeto; Na equação (2), temos as restrições relacionadas às relações de precedência; As restrições em (3) mostram as relações de sequenciamento entre as atividades; As restrições em (4) definem se existe fluxo de recurso ou não entre os pares de atividades; As restrições (5) e (6) mostram que a entrada e saída de fluxo de um recurso k , em uma atividade i , deve ser igual a quantidade requerida desse recurso pela atividade, isto é, a propriedade de conservação do fluxo; Na restrição (7) é definido o tempo total de execução do projeto; As restrições (8), (9) e (10) mostram o domínio das variáveis.

Este modelo matemático apresentado será implementado computacionalmente no GNU *Linear Programming Kit* (GLPK) e aplicado ao processo estudado.

3 METODOLOGIA

Nessa monografia será apresentada uma análise de um estudo de caso, procedimento que visa a coleta, exploração e investigação de dados de um tema a partir de um caso específico, contextualizado em tempo e local (VENTURA, 2007). De acordo com Yin (2011), o estudo de caso é caracterizado como uma abordagem metodológica que possibilita uma análise aperfeiçoada de um fenômeno, situação ou problema.

Para obtenção dos dados, levou-se em conta a observação do processo em uma Mineradora, localizada na cidade de Nova Lima, no estado de Minas Gerais. Além disso, foram consideradas as conversas informais com gerentes e funcionários da empresa e análises de documentações e procedimentos internos. Pela proximidade com o dia a dia da empresa, foram considerados também relatos da autora sobre detalhamento dos processos e identificação de possíveis falhas e gargalos presentes. A pesquisa realizada sobre o processo foi do período de maio de 2023 até agosto de 2023.

Com os dados coletados, foi utilizada a modelagem matemática para o Problema de Sequenciamento em Projetos com Restrição de Recursos (PSPRR) para representar o processo de Planejamento de Obras em questão, que será analisado no estudo de caso. Posteriormente, haverá a resolução computacional do problema, utilizando a linguagem *Mathematical Programming Language* (MPL) e o otimizador *GNU Linear Programming Kit* (GLPK), que é um pacote de software destinado a resolver problemas de Programação Linear (MANUAL, 2013).

Com base na solução encontrada, será feita uma análise dos dados e a proposição de um cronograma de execução das atividades. Posteriormente, será realizada uma comparação com o cronograma desenvolvido inicialmente pela empresa, que foi elaborado a partir de conhecimento tático dos funcionários e sem a utilização de softwares para auxílio nas tomadas de decisão. A partir disso, serão propostas melhorias no processo, caso sejam necessárias, para torná-lo mais eficiente.

4 RESULTADOS

4.1 Apresentação do Estudo de Caso

Atualmente, a empresa X atua como prestadora de serviços no ramo da construção civil, fornecendo serviços terceirizados para a empresa Y. Sendo assim, segue normas, regulamentações e procedimentos estabelecidos por tal empresa. Dentre suas principais atividades executadas estão reparos em prédios administrativos que vão de troca de forro, piso, pintura, demolição, realização de alvenaria, escavação para rede hidráulica, entre outras tarefas.

A empresa X conta, atualmente, com um efetivo de 49 funcionários, que é dividido entre a equipe operacional (diretos) e a equipe administrativa (indiretos). Os funcionários da empresa X desempenham as seguintes funções:

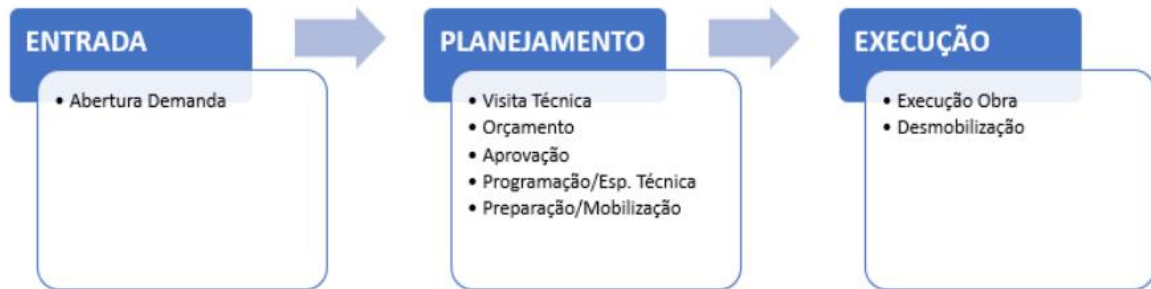
- 1 Engenheiro (Preposto do Contrato)
- 2 Analistas de Planejamento
- 1 Analista de Medição
- 3 Técnicas de Segurança do Trabalho
- 1 Administrativo
- 2 Encarregados
- 2 Almojarifes
- 18 Oficiais Cíveis
- 7 Auxiliares Cíveis
- 1 Serralheiro
- 2 Eletricistas
- 1 Auxiliar de Eletricista

O planejamento e controle dos projetos vai da elaboração do cronograma de atuação, compra de materiais para início das obras até o acompanhamento do previsto x real, realização de relatórios de obras e termos de abertura e encerramento de serviço.

No que compete a parte de elaboração de cronogramas de obras, é feita uma análise de alocação de recursos disponíveis (mão de obra direta) para definição de datas de início e fim das atividades, e nas relações de precedência entre elas, contando também com os eventuais contratemplos que surgem no dia a dia da empresa.

O processo de Planejamento de Obras segue o seguinte fluxo que está apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Processo de Planejamento de Obras



Fonte: Autoria própria (2023)

Antes do início de uma obra, é realizado o processo de Planejamento de Projetos. Ele se inicia com uma solicitação de cliente ou Gestor da empresa Y, enviado via e-mail para avaliação de uma determinada demanda a ser realizada, seja ela de reforma, reparo, construção, entre outros. Feita esta solicitação, é realizado, pelo(a) Analista de Medição, um orçamento levando em conta o escopo do trabalho a ser realizado e onde a interferência será feita.

Uma vez que o orçamento é realizado, o mesmo é enviado à empresa Y (também via e-mail), podendo ser aprovado, reprovado ou submetido a alteração pelo cliente ou Gestor. Caso o orçamento seja aprovado, inicia-se o processo de planejamento da obra, que segue o seguinte passo a passo:

1. Avaliação do local: Para programação da execução de qualquer atividade mensurada neste documento, deverá ser realizada reunião inicial com grupo técnico formado obrigatoriamente por: fiscal/gestor, responsável pelo contrato na localidade de realização da obra, preposto ou encarregado da contratada que irá executar o serviço, dono da área onde o serviço será realizado, e executantes (corpo operacional) quando necessário. Posteriormente, é feita uma visita junto ao Gestor, Engenheiro Preposto da empresa terceira, Grupo técnico (equipe de planejamento e segurança do trabalho), cliente e equipe operacional quando necessário, esta visita se faz extremamente necessária para que se possa avaliar o local e seus respectivos riscos, e assim desenvolver propostas de atuação efetivas;

2. Desenvolvimento do cronograma de atuação da obra: O cronograma é realizado pelo(a) Analista de Planejamento com o auxílio do encarregado de obras e Engenheiro Preposto. Utilizando o programa MS Project, é definido inicialmente qual será o escopo detalhado da obra e as relações de precedência das atividades, definindo assim quais serão as datas de início e fim para cada atividade. Neste cronograma, não é levada em conta a utilização de nenhum tipo de recurso, o encarregado, pelo seu conhecimento tático, seleciona quais funcionários da equipe operacional irão atuar no local;
3. Elaboração do TAS (Termo de Abertura de Serviço): Este documento conta com informações como número do chamado da obra, escopo das atividades que serão elaboradas, data de início e fim da demanda e duração em dias úteis da obra. As informações do TAS são retiradas do cronograma elaborado previamente pelo Analista de Planejamento. Quando finalizado, este documento é enviado junto ao cronograma, via e-mail, para aprovação da gestora e do cliente. Caso o TAS e Cronograma sejam aprovados sem ressalvas, inicia-se o processo de mobilização de recursos para o início da obra;
4. Processo de compra de insumos: Esta parte do processo é realizada pelo(a) Analista de Planejamento junto ao encarregado e se inicia após a aprovação dos gestores no Cronograma de atuação da demanda. Após a realização do processo de compra dos insumos, ao longo da obra podem surgir imprevistos, nestes casos são realizadas compras emergenciais. O processo de compra de materiais segue o seguinte fluxo:
 - a. Preenchimento de formulário de RC (Requisição de Compras), contendo especificação dos produtos e quantidades necessárias. Neste formulário, é definida para qual Mina será realizada a entrega e, caso seja possível, o material solicitado é retirado na Loja;
 - b. Feita a solicitação da RC, a mesma é direcionada à central da empresa X, que fica localizada na cidade de Ouro Preto. A RC é recebida pela compradora, que realiza 3 cotações para definição do melhor preço e onde será fechado o material. Este processo, em seu pior cenário, pode durar até 5 dias;

- c. Finalizado o processo de compra, os materiais são liberados para entrega agendada na Mina, ou podendo também serem retirados na loja pela logística de caminhonetes disponibilizadas no contrato;

Finalizadas todas essas etapas mencionadas acima, inicia-se a obra. Durante o processo de execução das obras podem surgir alguns problemas que são comuns e rotineiros no dia a dia da empresa, dentre eles podemos citar:

- Para iniciar as atividades da obra é necessária a preparação do local, incluindo limpeza do ambiente de trabalho, remoção de móveis ou outros itens que possam obstruir ou interferir as atividades previamente definidas. É extremamente importante ressaltar que a preparação do local pode impactar diretamente nas atividades do escopo da obra e, conseqüentemente, no cronograma de atuação do projeto, visto que não é contemplado o “tempo de limpeza do local” no mesmo.
- No cronograma de atuação das demandas, deve-se considerar também o tempo real e efetivo de atuação nas frentes de serviço. É importante levar em conta que o cronograma de atuação é uma estimativa, portanto é necessário levar em conta o real cenário da obra e os eventuais imprevistos que possam vir a ocorrer.
- É importante mencionar também sobre a disponibilidade de recursos. Em alguns casos, nem todos os recursos necessários (mão de obra e insumos) estão realmente disponíveis para utilização imediata. Na prática, isso ocasiona atrasos no planejamento.
- Um problema que também ocorre, embora com pouca frequência, é a mudança no layout do projeto. Dessa forma, algumas atividades são adicionadas no cronograma durante a execução da obra, impactando a duração total do projeto.

Visto todos esses problemas, será apresentado um estudo de caso, no qual as etapas do Planejamento e Controle do projeto serão definidas e executadas. Posteriormente, os problemas serão apontados e, finalmente, uma proposta para tornar esse processo mais eficiente, será apresentada.

4.2 Dados do Estudo de Caso

Nessa pesquisa, será analisado um cronograma em específico, de uma obra já executada e finalizada: Reforma na Sala da Inspeção de uma determinada Mina. O cronograma de

atividades desta obra foi definido inicialmente pelo Analista de Planejamento junto ao Preposto e Encarregados de Obras. As informações do projeto estão apresentadas nas tabelas abaixo.

Tabela 2 - Informações sobre as atividades do projeto

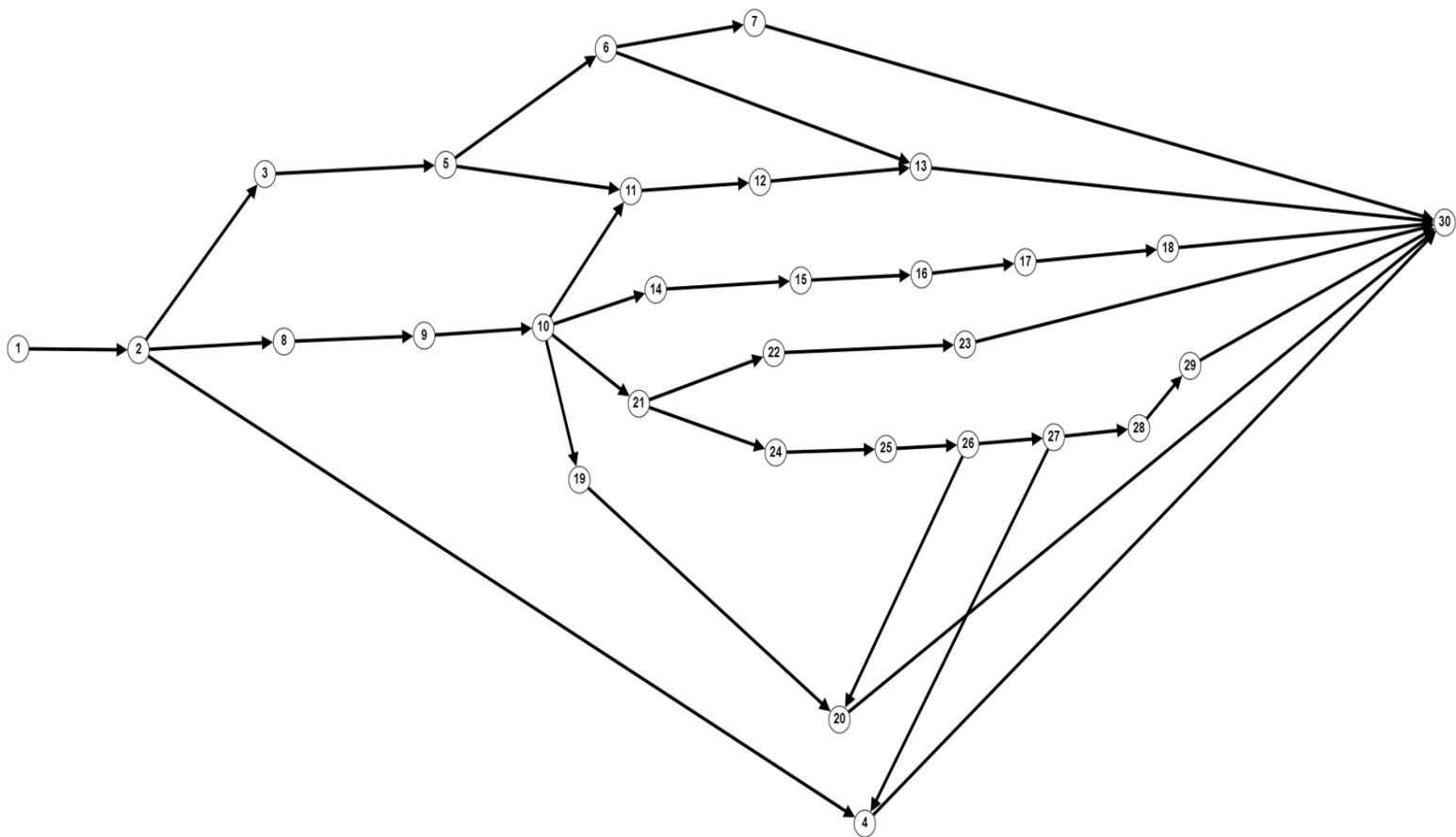
Nº	Descrição da Atividade	pi (dias úteis)	Precedência
1	Remoção de portas	2	
2	Remoção de janelas	3	1
3	Instalação de forro mineral	10	2
4	Instalações elétricas	47	2, 27
5	Instalação de forro acartonado de gesso	14	3
6	Emassamento do forro acartonado	6	5
7	Pintura do forro acartonado	3	6
8	Escarificação de paredes	7	2
9	Chapisco de paredes	3	8
10	Reboco das paredes	10	9
11	Emassamento de paredes	9	5, 10
12	Lixamento de paredes	7	11
13	Pintura das paredes	5	6, 12
14	Instalação de suporte para bancadas	2	10
15	Instalação de bancadas	2	14
16	Realização de espalas	8	15
17	Instalação de janelas de vidro	7	16
18	Instalação de portas de vidro	8	17
19	Instalação de marcos das portas de madeira	2	10
20	Instalação de portas de madeira	1	19, 26
21	Instalação de placas de drywall	5+3	10
22	Emassamento de placas de drywall	2	21
23	Pintura de placas de drywall	2	22
24	Preparação do local (piso vinílico)	1	21
25	Aplicação de manta	2	24

26	Instalação de piso vinílico	6	25
27	Instalação de rodapés	3	26
28	Finalização da obra	0,5	27
29	Desmobilização e limpeza	0,5	28
30	Retoques finais	5	4, 7, 13, 18, 20, 23, 29

Fonte: Autoria própria (2023)

O projeto é composto por 30 atividades, descritas na Tabela 2, seguidas pelas suas respectivas durações e relações de precedência. Para melhor visualização das relações de precedência um grafo foi criado, que é apresentado na Figura 8, a seguir.

Figura 8 - Grafo do processo



Fonte: Autoria própria (2023)

O grafo facilita a visualização das atividades e as relações entre elas. Assim, é possível observar a sequência preestabelecida entre as atividades, ou seja, as relações de execução que devem ser obedecidas.

A Tabela 3 está associada aos recursos disponíveis e utilizados para executar as atividades do projeto.

Tabela 3 - Informações sobre os recursos do projeto

Atividade	qik							
	Nº	Oficial Civil	Ajudante	Eletricista	Aux. Eletricista	Serralheiro	Vidraceiro	Aux. Vidraceiro
1			2					
2			2					
3		1	2			1		
4				1	1			
5		2	2					
6		2	2					
7		2	1					
8		1	1					
9		1	2					
10		2	2					
11		2	1					
12		1	2					
13		2	1					
14		1	1					
15		1	1					
16		1	1					
17							1	1
18							1	1
19		1	1					

20	1	1					
21	1	2					
22	2	2					
23	2	2					
24	1	1					
25	1	1					
26	2	2					
27	2	1					
28	3	3					
29	3	3					
30	3	3					

Fonte: A autoria própria (2023)

A Tabela 3 apresenta os 7 tipos disponíveis de recursos renováveis, bem como a quantidade necessária de cada um deles para executar cada uma das atividades do projeto. Com esses dados definidos, foi possível utilizar o modelo matemático apresentado para propor um cronograma do projeto.

4.3 Análise dos resultados obtidos

Após a definição do escopo de atividades, duração e suas relações de precedência, partimos para a etapa de resolução do problema através da utilização de um método computacional. A implementação computacional do problema foi feita com o otimizador GLPK, que é um pacote de *software* destinado a resolver problemas de programação linear e programação inteira mista. O computador utilizado possui a seguinte configuração: sistema operacional *Windows 10 Home Single Language*, processador *Intel Core i7*, 2.4 GHz e memória RAM instalada de 8 Gb. Para encontrar a solução foram gastos 41,1 segundos e 14,4 Mb de memória.

Após a implementação do modelo matemático e resolução através do método computacional, obtivemos um resultado de 57 dias de duração para o projeto, este dado mostra que essa é a solução ótima para o problema em questão, ou seja, é a menor duração possível dada as condições de precedência do projeto. A partir dessa análise, podemos dizer que o

método de elaboração do cronograma da empresa está sendo de fato efetivo, apesar de não haver uma garantia de que a duração é a menor possível para aquele cenário.

Dessa forma, é importante ressaltar a importância da aplicação dessa ferramenta na elaboração de cronogramas futuros, uma vez que não seria mais baseado somente na experiência tática do funcionário.

Outro ponto relevante que o uso da ferramenta apresenta, é o controle nas quantidades de recursos alocadas na execução das atividades. A utilização do programa confirma o que já está sendo realizado na empresa, mas promove a garantia do ótimo, além de considerar a utilização dos recursos como parte inerente do processo de viabilidade e otimização do problema.

O programa decide de onde e para onde, quantos e quais recursos vão ser necessários para executar cada uma das atividades do projeto, de forma otimizada, já que a alocação dos recursos, proposta pelo encarregado na obra, pode não ser a melhor possível.

Na implementação do modelo no software GLPK foram realizados alguns testes abrangendo diferentes cenários, levando em consideração a disponibilidade de recursos na obra. No primeiro cenário, com solução ótima igual à 57, foram consideradas a utilização de 8 unidades para os 7 tipos de recursos disponíveis (1 - Oficial Civil, 2 - Ajudante, 3 - Eletricista, 4 - Auxiliar de Eletricista, 5 - Serralheiro, 6 - Vidraceiro e 7 - Auxiliar de Vidraceiro). Nesse cenário foi possível concluir que haviam recursos ociosos no processo. Este fato pode ser observado uma vez que saíam da atividade 0 (fictícia inicial) e se deslocavam diretamente para a atividade 31 (fictícia final) os recursos excedentes. No cenário 2, com solução ótima igual à 57, foram consideradas 8 unidades dos recursos 1 e 2, e apenas 1 unidade dos recursos 3, 4, 5, 6 e 7. Ainda assim foi possível identificar que haviam recursos ociosos do tipo 1 e 2. No cenário 3, com solução ótima igual à 57, foram consideradas 6 unidades do recurso 1 e 2, e apenas 1 unidade dos recursos 3, 4, 5, 6 e 7. Foi testado ainda o cenário 4, considerando 5 unidades do recurso 1 e 2, e apenas 1 unidade dos recursos 3, 4, 5, 6 e 7. Esse foi inviável. Como isso, o cenário 3, revelou-se a melhor solução, apresentando a melhor utilização dos recursos.

O fluxo de recursos obtido após a implementação do modelo no software pode ser detalhado na tabela 4.

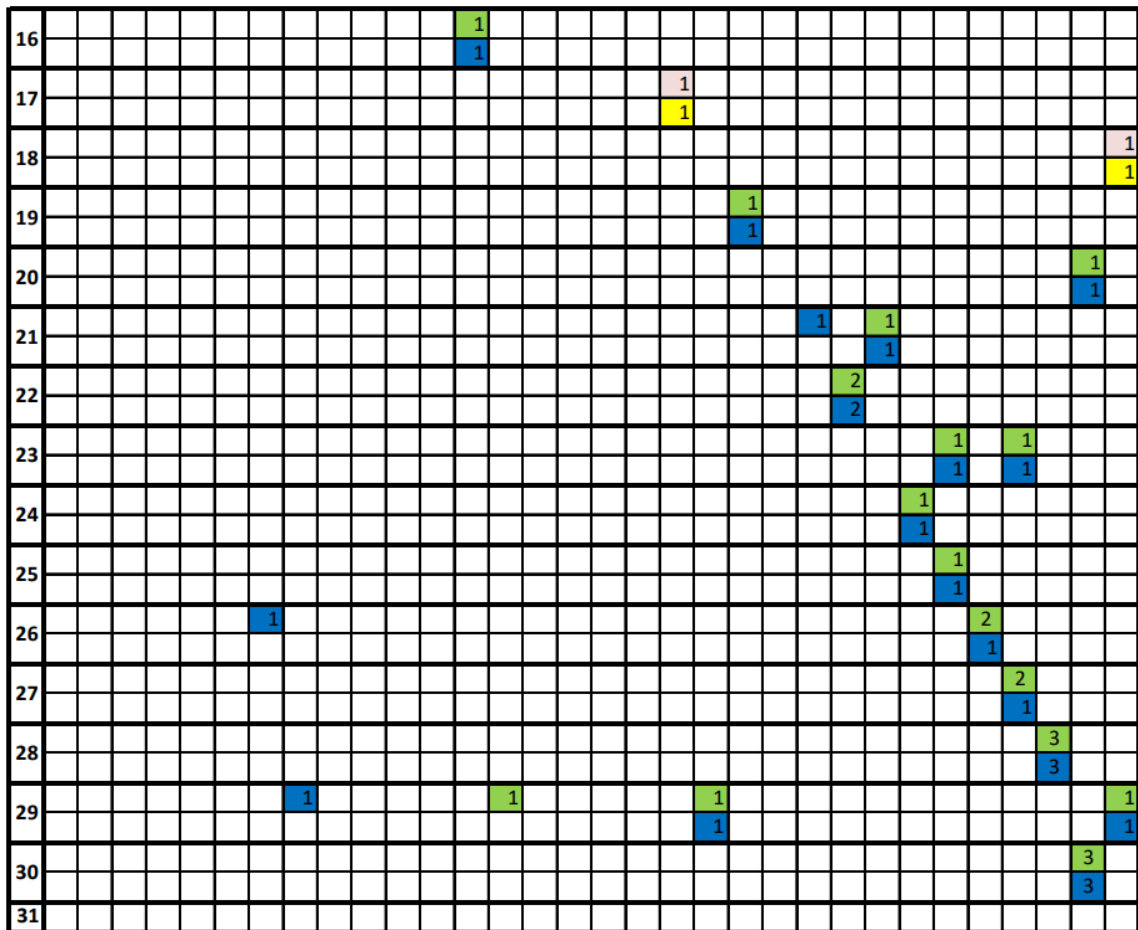
A tabela mostra o fluxo de recursos entre as atividades, de onde cada tipo de recurso vem e para onde ele vai e em qual quantidade. Até então, o fluxo de recursos entre as atividades do projeto era desconhecido. Após a implementação do problema e análise dos resultados, conseguimos determinar o fluxo ideal de cada recurso para cada atividade do escopo do projeto. Podemos afirmar que houve um ganho no processo, uma vez que o programa irá assegurar que

os recursos não estejam em excesso e nem faltem para a execução do projeto, ou seja, estejam disponíveis na quantidade necessária.

Tabela 4 - fluxo de recursos obtido após a implementação do modelo no software

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
0		2		1	1	1			1	1	1							1					1														
				1	1					2								1					1														
1		2																																			
2			1					1																													
3					1																													1			
4																																		1			
																																			1		
5						1					1												1														
6							2				1																								2		
7																																			2		
																																			1		
8																						1															
																							1														
9											1																										
											2																										
10												1			1								1														
															1																						
11						2							1																								
12															1																					1	
13																																				1	2
14																1																					
																	1																				
15																																					

- Oficial Civil
- Ajudante
- Eletricista
- Aux. Eletricista
- Serralheiro
- Vidraceiro
- Aux. Vidraceiro



Fonte: Autorial própria (2023)

A ferramenta em questão evidenciou que o método utilizado para elaboração do cronograma é realmente eficaz, tornando o processo de tomada de decisão mais seguro e minimizando possíveis desvios no processo. Além disso, o resultado obtido demonstra que o software fornece ainda um complemento valioso ao processo, ao definir o fluxo dos recursos para execução de cada atividade do escopo da obra, detalhando de onde chegam e para onde vão. Dessa forma, este ganho é crucial, pois assegura uma alocação de recursos otimizada, utilizando o mínimo necessário para atingir a menor duração possível. Isso, não só contribui para uma maior eficiência, mas também para a economia dos recursos, tornando o processo mais eficaz e econômico.

5 CONCLUSÃO

Foi analisado um estudo de caso de uma obra civil e os dados do problema estudado foram manipulados através da metodologia apresentada e resolvidos computacionalmente utilizando a linguagem MPL e o otimizador GNU Linear GLPK. Dessa forma, a solução ótima foi obtida. O modelo apresentou um *makespan* de 57 dias para a realização das 30 atividades presentes no escopo do projeto.

É possível observar pelo Cronograma do projeto que a precedência determinada no grafo foi respeitada na solução. Com o cronograma podemos analisar a sequência das atividades, o que permitiu a gestão eficiente dos recursos utilizados e o tempo gasto em cada uma.

Pode-se concluir que o cronograma apresentado pela empresa representa a solução ótima obtida pelo programa de 57 dias úteis para execução do projeto. A tabela de recursos apresentada no item anterior complementa a resolução do problema, uma vez que apresenta a solução ótima também para o fluxo dos recursos disponíveis na obra, promovendo um maior domínio e gerenciamento sob os mesmos, além de tornar a alocação a mais eficiente possível, cumprindo as relações de precedência definidas para o projeto.

A utilização do método computacional promoveu uma maior assertividade no processo de elaboração do cronograma de atividades, garantindo que a duração do projeto seja a menor possível dentro das relações de precedência definidas, além de tornar o processo mais efetivo, fazendo com que o êxito do projeto não dependa unicamente do conhecimento tático do colaborador executante.

Desse modo, podemos concluir que a utilização da Modelagem Matemática para resolução do problema produtivo em questão se mostrou extremamente efetiva, encontrando a solução ótima para o problema do PSPRR (Problema de Sequenciamento com Restrição de Recursos), minimizando assim o *makespan*, que pode ser definido como a duração total do projeto, respeitando todas as relações de precedência predefinidas, atendendo todas as necessidades de utilização de recursos das atividades e suas respectivas disponibilidades.

Diante disso, a atual pesquisa se mostra aplicável para futuros projetos da empresa, portanto a utilização dessa ferramenta na elaboração de futuros cronogramas se mostra eficaz, aprimorando assim o processo de sequenciamento de atividades e distribuição eficiente dos recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABENSUR, Eder Oliveira. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia de produção**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2018. 200 p.
- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional: para cursos de engenharia**, 2ª edição. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2015. 723 p.
- ARTIGUES, Christian. *Insertion techniques for static and dynamic resource-constrained project scheduling*. **European Journal of Operational Research**, p. 249-267, 1 set. 2003.
- AUSTIN, Simon; BALDWIN, Andrew; NEWTON, Andrew. *Manipulating the flow of design information to improve the programming of building design*. **Construction Management and Economics**, v. 12, n. 5, p. 445-455, 1 jan. 1994.
- BALAS, E. *Project Scheduling with Resource Constraints*. *Operational Research*, v. 15, p. 915-957, 1967.
- BRUCKER, Peter *et al.* *A branch and bound algorithm for the resource-constrained project scheduling problem*. **European Journal of Operational Research**, v. 107, n. 2, p. 272-288, 1 jun. 1998.
- BRUCKER, Peter; KNUST, Sigrid. *A Linear Programming and Constraint Propagation-Based Lower Bound for the RCPSP*. **European Journal of Operational Research**, v.127, p. 355-362, 1 dez. 2000.
- BRUCKER, Peter *et al.* *Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods*. **European Journal of Operational Research**. v. 112, n. 1, p. 3-41, 1 jan. 1999.
- BLAZEWICZ, J., LENSTRA, J. K., RINNOOY KAN, A. H. G. *Scheduling Subject to Resource Constraints: Classification and Complexity*. **Discrete Applied Mathematics**, v. 5, p. 11-24, 1983.
- BONNEY, Maurice. *Reflections on production planning and control (PPC)*. **Gestão e Produção**, [s. l.], v. 7, n. 3, 2000.
- BARCAUI, A. B; BORBA, D.; SILVA, I. M; NEVES, R. B; **Gerenciamento de cronograma em projetos**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2019.
- ALVES, Antonio; MENEZES, Marco. **Introdução à Pesquisa Operacional**, 2010.
- CORRÊA, H. L; CORRÊA, C. A.; **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Atlas, 2004.
- CARLIER, J.; NÉRON, E. *On linear bounds for the resource constrained project scheduling problem*. **European Journal of Operational Research**, September, 2003.
- CÂNDIDO, R. ; GNOATO, A. A.; CALDANA, C. G; SCHUTZ, F.; CARVALHO, H. A. O.; OLIVEIRA, J.; KACHBA, Y. R; **Gerenciamento de projetos**, Curitiba : Aymar, 2012.
- CHIAVENATO, I.; **Planejamento e Controle da Produção**, 3ª edição, Atlas, 2022
- Civil, Eng & Meneghetti, Ana. **Planejamento e Controle de Obras - Importância e Implantação**, 2020.

FREITAS, Renato Alexandre C.; BRAGA, Reinaldo B.; DE OLIVEIRA, Carina T. **Uma Proposta para Melhoria do Planejamento e Controle da Produção em Projetos de Construção Civil**. In: Anais da IX Escola Regional de Computação do Ceará, Maranhão e Piauí. SBC, p. 99-106. 2021.

GRAY, Clifford F.; LARSON, Erik W. **Gerenciamento de projetos – o processo gerencial**. 4ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2009.

GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. **Noções de orçamento e planejamento de obras**, São Leopoldo: 2008.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.; **Introdução à Pesquisa Operacional**, 9ª edição, Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2012.

IBGE. **PAIC 2018: Indústria da construção sofre com a queda nas obras de infraestrutura e nas contratações do setor público**. [S. l.]: Agência IBGE notícias, 27 maio 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/27793-paic-2018-industria-da-construcao-sofre-com-a-queda-nas-obras-de-infraestrutura-e-nas-contratacoes-do-setor-publico#:~:text=A%20atividade%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o%20gerou,13%2C6%20bilh%C3%B5es%20em%20incorpora%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 9 out. 2023.

KOLISCH, Rainer; SPRECHER Arno; PSPLIB - A project scheduling problem library: OR Software - ORSEP Operations. **European Journal of Operational Research**, v. 10, p. 205-216, 10 jan, 1997.

KOLISCH, Rainer; SPRECHER, Arno; SLOWINSKI, Roman. Research Software Exchange Program - Multiobjective network scheduling with efficient use of renewable and nonrenewable resources. **European Journal of Operational Research**, v. 7, n. 3, p. 265-273, 1981.

KEELING, R.; BRANCO, R. H. F.; **Gestão de Projetos: uma abordagem global**, 3ª edição, Saraiva Educação S.A, 2002.

KOSKELA, Lauri; **An exploration toward a production theory and its application to construction**, VVT Technical Research Centre of Finland, 2000.

KERZNER, H.; **Gestão de Projetos: As melhores práticas**, 4ª edição, Porto Alegre: Bookman, 2018 OU 2020

LIEBERMAN, G. J.; HILLIER, F. S.; **Introdução à Pesquisa Operacional**, 8ª edição, São Paulo: Mc Graw Hill Interamericana do Brasil Ltda, 2006.

LUSTOSA, L.; MESQUITA, M.; QUELHAS, O.; OLIVEIRA, R.; **Planejamento e Controle da Produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MATTOS, A. D.; **Planejamento e Controle de Obras Civis**, 2ª edição, São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MATTOS, A.D; **Planejamento e Controle de Obras**, São Paulo, 2010.

MELO, Maury; **Gerenciamento de Projetos para a Construção Civil**, 2ª edição, Brasport, 2012.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. *Production management*. São Paulo: Saraiva, 2005.

NOCÊRA, R. J; **Planejamento e Controle de Obras com o MS-Project**, 1ª edição, RJN Publicações, 2013,

PILAR, Fernando Eiras Novo do.; **A Gestão de Projetos na Gestão de Obras das Empresas de Construção**. Dissertação, UTAD (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro) Portugal.

PATTERSON, J. H., HUBER, W. D. *A Horizon-Varying, Zero-One Approach to Project Scheduling*. Management Science, 1990.

PRADO, Darci. **Programação linear**. Volume 1. Falconi Editora, 2016.

PORTUGAL, M. A; **Como Gerenciar Projetos de Construção Civil: do orçamento à entrega da obra**, Brasport Livros e Multimídia Ltda, 2017.

PIZZOLATO, Nélio Domingues. **O problema do sequenciamento da produção em uma indústria química: avaliação de uma aplicação real**. *Gestão & Produção*. v.6, n.1, p. 16-29, abr. 1999.

REZENDE, L. V.; FERNANDES, L. F. de L.; OLIVEIRA, P. C. L.; SOUZA, D. D. de; VIEIRA, C. da S.; **Proposição de um novo modelo matemático para o problema de sequenciamento em projetos com restrição de recursos e a aplicação na produção de geleia de mocotó**. In: LI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2019, Limeira. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2019.

RODRIGUES, V. M.; HERNÁNDEZ, C. T.; FAGUNDES, M. C.; de AZEVEDO F., CEUTH, L. **Programação Linear Aplicada a uma Microempresa de Comunicação Visual**. SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 11, 2014.

TUBINO, D. F.; **Planejamento e Controle da Produção: teoria e prática**, 1ª edição, Atlas, 2007.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D.; YANG, Maria C. *Product design and development*, Boston: McGraw-Hill higher education, 2008.

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

YOUNG, T. L.; **Manual de Gerenciamento de Projetos: um guia completo de políticas e procedimentos práticos para o desenvolvimento de habilidades em gerenciamento de projetos**. São Paulo: Clio Editora, 2008.