



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROGRAMAÇÃO DE ATIVIDADES EM MÚLTIPLOS PROJETOS COM
RESTRICÇÕES DE RECURSOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

ALISSON MATIAS TEIXEIRA

Recife,
2025

ALISSON MATIAS TEIXEIRA

**PROGRAMAÇÃO DE ATIVIDADES EM MÚLTIPLOS PROJETOS COM
RESTRIÇÕES DE RECURSOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia De Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gerência da
Produção

Orientador (a): Prof.^a Dr.^a Luciana Hazin Alencar.

Coorientador (a): Prof. Dr. Raphael Harry Frederico Ribeiro Kramer.

Recife,
2025

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Teixeira, Alisson Matias.

Programação de atividades em múltiplos projetos com restrição de recursos: estudo de caso em uma empresa de construção civil / Alisson Matias Teixeira. - Recife, 2025.

100f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2025.

Orientação: Luciana Hazin Alencar.

Coorientação: Raphael Harry Frederico Ribeiro Kramer.

Inclui referências e apêndices.

1. Alocação de recursos; 2. Projetos simultâneos; 3. RCMPSP; 4. Gestão de projetos. I. Alencar, Luciana Hazin. II. Kramer, Raphael Harry Frederico Ribeiro. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

ALISSON MATIAS TEIXEIRA

**PROGRAMAÇÃO DE ATIVIDADES EM MÚLTIPLOS PROJETOS COM
RESTRIÇÕES DE RECURSOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia De Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Gerência da Produção.

Aprovada em: 30/04/2025

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência
Prof.^a Dr.^a Luciana Hazin Alencar (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência
Prof.^a Dr.^a Caroline Maria de Miranda Mota (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência
Prof.^a Dr.^a Bianca Maria Vasconcelos Valério (Examinadora Externa)
Universidade de Pernambuco

Dedico esse trabalho aos meus pais **Josefa Matias** e **José Teixeira**, vocês são o combustível para todas as minhas conquistas.

AGRADECIMENTOS

O meu primeiro agradecimento é a Deus por me conceder saúde e forças durante todo o processo do mestrado e por ter aberto todas as portas necessárias para que isso fosse possível. Obrigado meu pai por ser tão misericordioso.

Aos meus pais José e Josefa por serem a minha motivação para conquistar todos os meus sonhos, vocês dois são meus maiores exemplos de garra e determinação, eu não poderia ter pais melhores, o amor de vocês foi o meu maior combustível durante esse desafio.

Aos meus irmãos Alexandre, Alessandra, Anderson e Ana Jéssica, obrigado por sempre estarem ao meu lado me incentivando e me impulsionando, essa vitória é nossa. Quero fazer um agradecimento direcionado a minha irmã Alessandra, você é o meu grande exemplo de coragem e honestidade, obrigado por me amar de uma forma tão grande e por nunca desistir de mim, a você minha eterna gratidão por desde quando eu era criança ter feito de tudo que podia para que eu pudesse ter a melhor educação possível. Agradeço também aos meus sobrinhos Nathália, Renan, Júlia, Arthur, Gabi e Maria Luiza, vocês são minha alegria, amo vocês. Não posso esquecer também da minha cunhada e madrinha Hosana, seu cuidado e atenção sempre foram muito importantes para mim.

Gostaria de estender um profundo agradecimento a Anderson Enio, você me incentivou desde o início, antes mesmo da seleção, vibrou comigo a aprovação e acompanhou todo o processo. Em todos os momentos de desafio, onde eu achava que não iria conseguir, você me incentivava e me dava forças para que eu vencesse esse desafio, obrigado por ser quem você é, essa vitória é nossa. Aproveito para agradecer a Rafa, Dona Selma, Maely e Joyce por todo carinho e incentivo, vocês são muito especiais para mim.

Agradeço a Jedilson Amorim, proprietário da Z&A, empresa que eu trabalhava quando iniciei no mestrado. Tudo isso só foi possível porque ele que me permitiu conciliar o trabalho com as disciplinas do mestrado. Dr., o senhor me incentivou a continuar estudando e sempre foi um grande mentor da vida. Serei eternamente grato por tudo.

Aos meus amigos que o PPGEF proporcionou Ana Alice, Eduardo Silva, Maria do Livramento, Marília Catarine e Moisés Rocha, sem vocês teria sido muito mais difícil, vocês estiveram comigo em muitos momentos angustiantes nesse processo, a

ajuda e o incentivo de vocês foram fundamentais para que eu alcance os objetivos. Quero fazer um agradecimento direcionamento a Moisés, você é um dos melhores seres humanos que eu já conheci, obrigado por me ensinar não só cálculos matemáticos, mas a ser uma pessoa melhor, você é um irmão que eu ganhei e quero levar por toda vida.

Quero agradecer a Matheus Lopes e Clarissa Rodrigues por sua grande contribuição no trabalho em me ajudar no desenvolvimento do modelo de otimização, por terem tido tanta paciência e não terem medido esforços para me ajudar, serei eternamente grato a vocês dois por isso.

Gostaria de registrar minha imensa gratidão à minha orientadora, Luciana Hazin, por todo o suporte e direcionamento ao longo do desenvolvimento desta dissertação, o seu profissionalismo e gigantesco conhecimento na área de projetos me inspiram e me faz ter orgulho de ter sido seu orientando. Também agradeço ao meu coorientador Raphael Kramer por toda contribuição nessa pesquisa, por toda paciência que teve comigo e por me inspirar a ser melhor.

Agradeço também aos professores do PPGEF, em especial a Caroline Mota, pelo valioso conhecimento compartilhado e pelo empenho em manter o programa em um nível de excelência. Por fim, estendo minha gratidão à CAPES pelo apoio financeiro que tornou possível a realização desta pesquisa.

"Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda."

Paulo Freire

RESUMO

A construção civil enfrenta desafios históricos relacionados à baixa produtividade e à alocação ineficiente de recursos, em especial de mão de obra, um fator crítico para o desempenho dos projetos. Essas dificuldades são agravadas por limitações nas técnicas tradicionais de planejamento e controle, sobretudo em ambientes onde múltiplos projetos compartilham recursos. Diante desse cenário, este trabalho apresenta a aplicação prática de um modelo baseado no Problema de Programação de Múltiplos Projetos com Restrições de Recursos (RCMPSP), com foco específico na otimização da alocação de mão de obra em canteiros de obras. O objetivo é aprimorar a gestão dos recursos humanos, promovendo uma distribuição mais equilibrada da carga de trabalho e redução de prazos. O modelo foi implementado e testado em projetos reais da construção civil, permitindo a comparação entre os resultados obtidos e o planejamento convencional da empresa. Os resultados comprovaram que a aplicação de técnicas de sequenciamento de atividades proporcionou uma alocação significativamente mais eficiente da mão de obra, mitigando gargalos e aumentando a eficiência do planejamento. Além disso, ajustes no tempo de processamento impactaram diretamente o cronograma e os custos operacionais, com redução do *makespan* de 732 para até 600 dias e economia de até R\$ 195.210,00. Mesmo em cenários com menor disponibilidade de recursos, o modelo demonstrou robustez e manteve a viabilidade dos projetos, reforçando seu potencial como ferramenta estratégica para otimizar a gestão da mão de obra e a execução de obras no setor da construção civil.

Palavras-chave: Alocação de Recursos; Projetos Simultâneos; RCMPSP; Gestão de Projetos.

ABSTRACT

The construction industry has historically faced challenges related to low productivity and the inefficient allocation of resources, especially labor, a critical factor in project performance. These difficulties are exacerbated by limitations in traditional planning and control techniques, especially in environments where multiple projects share resources. Given this scenario, this paper presents the practical application of a model based on the Resource Constrained Multiple Project Scheduling Problem (RCMPSP), with a specific focus on optimizing the allocation of manpower on construction sites. The aim is to improve the management of human resources, promoting a more balanced distribution of the workload and reducing deadlines. The model has been implemented and tested on real construction projects, allowing the results obtained to be compared with the company's conventional planning. The results showed that the application of activity sequencing techniques led to a significantly more efficient allocation of labor, mitigating bottlenecks and increasing planning efficiency. In addition, adjustments to processing time directly impacted the schedule and operating costs, with a reduction in makespan from 732 to up to 600 days and savings of up to R\$195,210.00. Even in scenarios with lower resource availability, the model proved robust and maintained the viability of the projects, reinforcing its potential as a strategic tool for optimizing workforce management and the execution of works in the construction sector.

Keywords: Resource Allocation; Simultaneous Projects; RCMPSP; Project Management.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - GERAÇÃO DE VAGAS DO 1º ATÉ O 3º TRIMESTRE DOS ANOS 2023 E 2024	17
FIGURA 2 - ESTRUTURA METODOLÓGICA DO TRABALHO	22
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.	24
FIGURA 4 - ESTRUTURA DO TRABALHO	26
FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DO CUSTO COM O TEMPO DO PROJETO	29
FIGURA 6 - ESTRUTURA DE CICLO DE VIDA DE UM PROJETO.	30
FIGURA 7 - NÍVEIS DE PLANEJAMENTO	31
FIGURA 8 - DIAGRAMA DE NÓ E UM CRONOGRAMA PARA O PROBLEMA DE RCMPSP	32
FIGURA 9 - CLASSIFICAÇÃO DAS VARIANTES RCMPSP	34
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO RCMPSP	35
FIGURA 11 - DETALHAMENTO DO GRÁFICO <i>GANTT</i>	36
FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO DAS PALAVRAS CORRELACIONADAS A PESQUISA	39
FIGURA 13 - CRONOGRAMA DESENVOLVIDO PELA EMPRESA PARA O PROJETO 1	52
FIGURA 14 - RESULTADO DO SEQUENCIAMENTO DE RCMPSP DO ESTUDO DE CASO	61

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - EVOLUÇÃO DA VARIAÇÃO % DO PIB BRASIL E DO PIB	18
GRÁFICO 2 - QUANTIDADE DE ARTIGOS SELECIONADOS POR ÁREA DE PESQUISA	40
GRÁFICO 3 - ARTIGOS SELECIONADOS POR OBJETIVO.	41
GRÁFICO 4 - COMPARATIVO DOS MAKESPANS PARA 6 HORAS DE PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL	63
GRÁFICO 5 – COMPARATIVO DOS MAKESPANS PARA 3 HORAS DE PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL	63
GRÁFICO 6 - COMPARATIVO DOS MAKESPANS PARA 24 HORAS DE PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL	63
GRÁFICO 7 - COMPARATIVO DOS MAKESPANS PARA 12 HORAS DE PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL	63
GRÁFICO 8 - REDUÇÃO DE RECURSOS – TEMPO 24 HORAS	67
GRÁFICO 9 - REPRESENTAÇÃO GERAL DAS ANALISES	68
GRÁFICO 10 - RESUMO DE UTILIZAÇÃO DE RECURSOS POR INTERVALO DE TEMPO	69
GRÁFICO 11 – SEQUENCIAMENTO RECURSOS 1 E 2	69
GRÁFICO 12 - SEQUENCIAMENTO RECURSOS 3 E 4	70
GRÁFICO 13 - SEQUENCIAMENTO RECURSOS 5 E 6	70
GRÁFICO 14 – UTILIZAÇÃO DO RECURSO 7	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - STATUS DE AVALIAÇÃO DOS ARTIGOS	23
TABELA 2 - ALGORITMOS METAHEURISTICOS PARA O PROBLEMA DE RCPSP.	42
TABELA 3 - OUTROS MÉTODOS PARA O PROBLEMA DO RCPSP E RCMPSP	44
TABELA 4 - NOVAS ABORDAGEM PARA O PROBLEMA DO RCPSP	46
TABELA 5 - DISPONIBILIDADE DE RECURSOS	54
TABELA 6 - QUANTIDADE DE PROJETOS E DE TAREFAS	54
TABELA 7 - DETALHAMENTO DO PROJETO 1	54
TABELA 8 - ALOCAÇÃO DE RECURSOS DO PROJETO 1	57
TABELA 13 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS - SITUAÇÃO INICIAL X TEMPO DE PROCESSAMENTO DE 3 HORAS	65
TABELA 14 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS - SITUAÇÃO INICIAL X COMPARATIVA DO TEMPO DE OTIMIZAÇÃO DE 6 E 12 HORAS.	65
TABELA 15 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS - SITUAÇÃO INICIAL X COMPARATIVA DO TEMPO DE OTIMIZAÇÃO DE 24 HORAS	66
TABELA 16 - PROJEÇÃO DA REDUÇÃO DE RECURSOS	67
TABELA 17 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS - SITUAÇÃO INICIAL X COMPARATIVA DE REDUÇÃO DE RECURSOS COM TEMPO DE OTIMIZAÇÃO DE 24 HORAS.	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AG	Algoritmos Genéticos
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CBC	Coin-or Branch and Cut
COA	Algoritmo Híbrido de Otimização por Cuckoo
CP	Programação de Restrições
CPM	Caminho Crítico
CS	Seleção de Contratados
CVPS	Algoritmo de Otimização do Sistema de Partículas Vibratórias Caóticas
DCS	Busca discreta de cuco
DE	Algoritmo de evolução diferencial
DRCMPSP	Agendamento multiprojeto descentralizado com restrição de recursos
DTCTP	Problemas discretos de trade-off de tempo-custo
EBRA	Event Based Reactive Approach
GAs	Grupos Autônomos
GPHH	Hiper-heurística de programação genética
GWO	Algoritmo Híbrido de Otimização
HCOEA	Algoritmo de Coevolução Cooperativa Híbrida
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MILP	Programação Linear Inteira Mista
MODE	Algoritmos de evolução diferencial multioperador
NSGA-II	Algoritmo Genético de Ordenação Não Dominada
PIB	Produto Interno Bruto
PR	Regra de Prioridade
PSO	Otimização por Enxame de Partículas
PSGS	Esquema de geração de programação paralela
RCPSP	Agendamento de projetos com restrição de recursos
RCMPSP	Agendamento de múltiplos projetos com restrição de recursos
RCPSP/MTC	Agendamento de projeto com base em recursos sob restrições de múltiplos tempos
RO	Modelo de Otimização Robusta
SA	Recozimento simulado
SFLA	Algoritmo de Pulo do Sapo Embaralhado
SMRCPSP	Programação de projeto multimodo estocástico com restrição de recursos
SPEA	Algoritmo Evolutivo de Pareto Forte

SSGS	Esquema de geração de programação serial
TI	Tecnologia da Informação
TS-MODE	DE Multioperador
VPS	Sistema de Partículas Vibratórias

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	20
1.2	OBJETIVOS.....	21
1.2.1	Objetivo Geral	21
1.2.2	Objetivos Específicos	22
1.3	METODOLOGIA.....	22
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	27
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	27
2.2	GERENCIAMENTO DE PROJETOS.....	28
2.3	PLANEJAMENTO DE PROJETOS.....	30
2.4	PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS.....	31
2.4.1	Programação de projetos com restrição de recursos	31
2.4.2	Programação de múltiplos projetos com restrição de recursos	34
2.5	PROJETOS SIMULTÂNEOS.....	35
2.6	SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES.....	36
2.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	37
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	39
3.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	39
3.2	ESTUDOS QUE ABORDAM O RCPSP E RCMPSP.....	41
3.3	ESTUDOS QUE ABORDAM O SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES.....	46
3.4	ESTUDOS SOBRE NOVAS ABORDAGENS PARA O RCPSP.....	46
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	49
4	ESTUDO DE CASO.....	50
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	50
4.2	DESCRIÇÃO DA PROBLEMÁTICA.....	50

4.3 MODELO PARA SEQUENCIAMENTO DE MÚTIPLoS PROJETOs COM RESTRIÇÃO DE RECURSOS.....	53
4.3.1 Estruturação do Problema.....	53
4.3.2 Modelagem analisada para o RCMPSP.....	55
4.3.3 Avaliação dos resultados.....	57
4.3.4 Análise comparativa dos <i>makespans</i>	63
4.3.5 Análise comparativa de custos associados aos <i>makespans</i>	64
4.3.6 Análise de Redução de Recursos.....	66
4.3.7 Análise de alocação de recursos.....	68
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	72
5 CONCLUSÃO.....	73
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
5.2 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES.....	75
5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75
REFERÊNCIAS.....	77
APÊNDICE A – CRONOGRAMA DOS PROJETOs 2 e 3.....	92
APÊNDICE B – CRONOGRAMA DOS PROJETOs 4 e 5.....	93
APÊNDICE C – DETALHAMENTO DO PROJETO 2.....	94
APÊNDICE D – DETALHAMENTO DO PROJETO 3.....	95
APÊNDICE E – DETALHAMENTO DO PROJETO 4.....	96
APÊNDICE F – DETALHAMENTO DO PROJETO 5.....	97
APÊNDICE G – DETALHAMENTO DO 2º e 3º PROCESSAMENTO.....	98
APÊNDICE G – DETALHAMENTO DO 2º e 3º PROCESSAMENTO (CONTINUAÇÃO).....	99
APÊNDICE G – DETALHAMENTO DO 2º e 3º PROCESSAMENTO (CONTINUAÇÃO).....	100

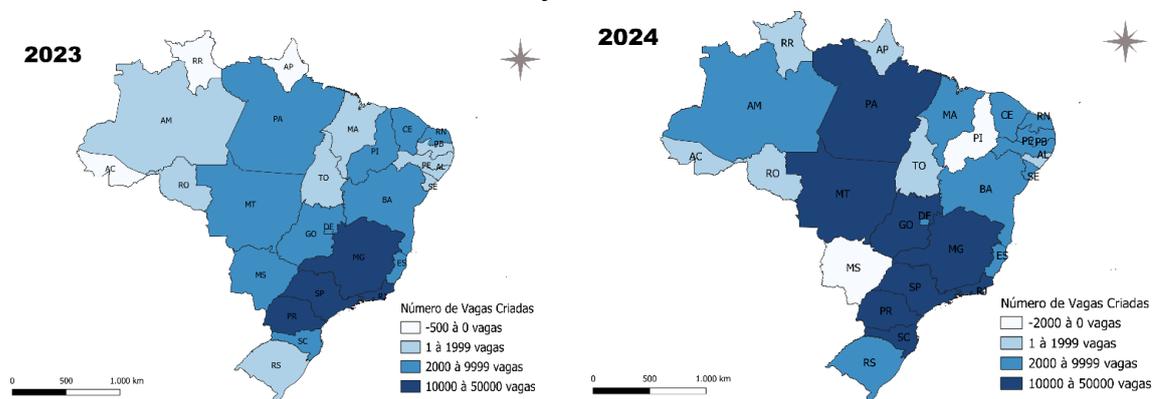
1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um país e sua economia estão ligados a diversos fatores, sendo a construção civil uma das indústrias mais relevantes por sua contribuição significativa nesse processo (Chin; Hamid, 2015; Enshassi; Kochendoerfer; Rizq, 2014; Lessing; Thurnell; Durdyev, 2017; Sawant *et al.*, 2024; Zidane; Andersen, 2018)

Entretanto, a Construção Civil no Brasil é conhecida pelo atraso nos procedimentos gerenciais e técnicas construtivas, pela mão de obra pouco especializada, por baixos índices de produtividade, por atrasos nos prazos de entrega, pela não conformidade e baixa qualidade do produto, entre outros limitantes (Fashina *et al.*, 2021; Filippi; Melhado, 2015; Frej; Alencar, 2010; Kazemi; Kim; Kazemi, 2021)

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) divulga um relatório trimestral de desempenho, que inclui uma análise detalhada sobre a geração de novas vagas de trabalho no setor. O relatório apresenta dados atualizados sobre o mercado de trabalho na construção civil, destacando o número de novas vagas criadas. Esses dados são ilustrados na Figura 1, oferecendo uma visão clara do desempenho do setor nos primeiros três trimestres dos anos 2023 e 2024.

Figura 1 - Geração de vagas do 1º até o 3º trimestre dos anos 2023 e 2024 na construção civil do Brasil



Fonte: Adaptado da CBIC 2023 e 2024

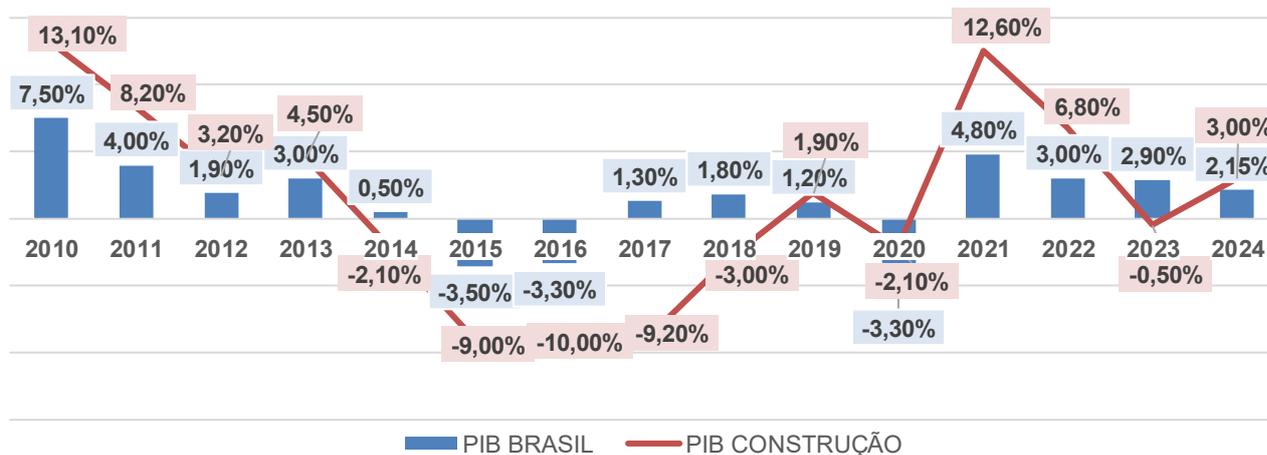
Esse mapa mostra que a construção civil registrou uma evolução significativa na geração de novas vagas de emprego entre os anos citados. Observando-se um crescimento geral em diversos estados, Pernambuco se destacou como um dos estados com maior crescimento, com um aumento de 71% no número de vagas,

passando de 1.614 para 2.760 vagas. Esse resultado reforça a importância do setor na economia mundial.

Com isso, o setor da construção apresenta características econômicas e sociais únicas, sendo um motor importante para atrair investimentos e impulsionar o crescimento econômico a curto prazo (Du *et al.*, 2019; Qudah; Fuentes-Bargues; Ferrer-Gisbert, 2024; Yu *et al.*, 2022), se destacando por sua complexa cadeia produtiva e pelos inúmeros encadeamentos setoriais que promove, o que permite ampliar a oferta de infraestrutura, gerar empregos e elevar a renda, contribuindo diretamente para o desenvolvimento econômico (Bank, 2022; Filho; Bezerra; Dias, 2020).

De acordo com dados coletados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e demonstrados no Gráfico 1, a construção civil tem uma grande representatividade no Produto Interno Bruto (PIB) do País.

Gráfico 1 - Evolução da Variação % do PIB Brasil e do PIB da Construção Civil 2010 a Julho de 2024



Fonte: Contas Nacionais Trimestrais – 1º Trimestre de 2024, IBGE.

Conforme apresentado pela CBIC, a construção civil se destaca como um setor altamente representativo no PIB devido à sua capacidade de gerar milhares de empregos diretos e indiretos. Esse segmento impulsiona o crescimento econômico ao estimular a demanda por materiais, equipamentos e serviços, reforçando, assim, sua importância estratégica para a economia do país.

Nesse contexto, torna-se essencial uma gestão eficiente dos projetos de execução de obras na construção civil. Para alcançar um gerenciamento bem-

sucedido, é imprescindível o desenvolvimento e a aplicação de uma ampla gama de habilidades, que incluem competências técnicas, sensibilidade interpessoal e aptidão cognitiva dos membros da equipe, além da capacidade de compreender claramente os objetivos e restrições do projeto no contexto da gestão e controle da sua execução (Cheng, 2014; Obi *et al.*, 2021; Sánchez *et al.*, 2023; Yap; Chow, 2020).

Neste trabalho, adota-se o termo projeto no sentido de gestão de projetos, isto é, como o conjunto de processos, práticas e atividades voltadas ao planejamento, coordenação, execução e controle da execução de obras (PMI, 2021; Lacerda; Martens; Maccari, 2015; Kendall; Rollins, 2003). Tal definição difere do uso tradicional do termo na engenharia e arquitetura, onde projeto refere-se frequentemente aos desenhos técnicos e especificações que subsidiam a execução física da obra (projeto arquitetônico, estrutural, entre outros), o foco aqui está, portanto, na gestão da execução e não no desenvolvimento do projeto técnico (Gray; Larson, 2018; Kazemi; Kim; Kazemi, 2021).

Ademais, a redução do tempo de duração das atividades em projetos impacta diretamente a economia nacional. Contudo, essa redução enfrenta como principal obstáculo a necessidade de uma alocação eficiente dos recursos, um desafio inerente e particularmente crítico devido às restrições impostas pelo compartilhamento de recursos entre diversos projetos (Altuwaim; El-Rayes, 2018; Saeed, 2018). A gestão eficiente desses recursos representa uma questão complexa que tem desafiado pesquisadores e profissionais ao longo das últimas décadas (García-Nieves *et al.*, 2018a; Tang *et al.*, 2018; Zarghami, 2022).

Nesse cenário, este estudo tem como objetivo aplicar um modelo de sequenciamento de atividades para múltiplos projetos, visando otimizar a alocação de recursos e minimizar a duração total dos projetos. Essa abordagem integra técnicas avançadas de planejamento e gerenciamento de recursos, aplicando uma formulação matemática para o problema de agendamento de múltiplos projetos com recursos limitados (RCMPSP). Espera-se que essa abordagem contribua significativamente para melhorar os resultados dos projetos, proporcionando uma gestão mais eficaz, eficiente e competitiva.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A construção civil enfrenta desafios maiores em comparação a outras atividades devido à sua natureza dinâmica, fragmentada e complexa, exigindo a colaboração de diversas partes interessadas e um gerenciamento de processos eficaz (Demirkesen Çakır; Ozorhon, 2017; Franco *et al.*, 2022).

No cenário global atual, uma tendência notável é a atuação de organizações que gerenciam múltiplos projetos simultaneamente, compartilhando recursos comuns e integrados. Isso demanda controle eficiente e sistemas de informação eficazes para a gestão desses recursos (Clark; Wheelwright, 1993). Assim, os recursos são distribuídos entre os projetos e, conforme a prioridade e as competências necessárias, podem se tornar escassos, exigindo sua redistribuição entre os diferentes projetos (Alsharif *et al.*, 2024)

Com isso, um planejamento eficaz, por meio de um cronograma bem estruturado e uma alocação eficiente de recursos, pode aumentar significativamente as chances de sucesso de um projeto de construção, garantindo sua conclusão dentro do prazo e do orçamento, atendendo às especificações estabelecidas e minimizando problemas ao longo da execução (Al Rashid *et al.*, 2020)

Vários estudos documentaram insucessos em projetos (Damoah; Kumi, 2018; Iqbal *et al.*, 2024). Entre os problemas frequentemente identificados na implementação de projetos estão os atrasos, os custos excessivos, a performance aquém do esperado em qualidade e satisfação do cliente, além da desintegração com as estratégias organizacionais (Gazder; Khan, 2018; Nguyen, 2020; Wasim; Khalidi, 2018). Estes problemas fazem com que o ambiente da construção seja desafiador para qualquer metodologia de gestão (Poon; Musti; Wettasinghe, 2013; Xie *et al.*, 2024)

Por isso, é crucial que os processos e políticas empresariais para a alocação de recursos sejam bem estruturados, especialmente em ambientes com restrições (Maritan; Lee, 2017). Nessas circunstâncias, as limitações não são os recursos em si, mas as práticas organizacionais que falham em criar mecanismos de priorização e não consideram a capacidade total do sistema (Wu *et al.*, 2022; Yu *et al.*, 2021, 2022).

Na construção civil, é comum que empresas executem múltiplos projetos simultaneamente, promovendo o compartilhamento de recursos. Contudo, essa prática impõe desafios à gestão, especialmente no sequenciamento desses recursos, uma vez que sua alocação inadequada pode ocasionar conflitos, atrasos e

ineficiências operacionais (Arrotéia; Amaral; Melhado, 2014). A complexidade dessa dinâmica exige a adoção de metodologias avançadas de planejamento e controle, garantindo a otimização dos recursos disponíveis e a minimização de impactos negativos no cronograma e nos custos dos projetos (Grau *et al.*, 2014).

Nesta pesquisa, o problema investigado no estudo de caso é a alocação eficiente de mão de obra em múltiplos projetos de construção civil executados simultaneamente. A distribuição manual das equipes, baseada apenas na experiência dos gestores, resulta em atrasos, ociosidade e sobrecarga de trabalho, impactando diretamente os prazos e custos operacionais. Diante desse cenário, busca-se analisar um modelo baseado no Problema de Programação de Múltiplos Projetos com Restrições de Recursos (RCMPSP), com o objetivo de otimizar o sequenciamento das atividades, melhorar a alocação dos recursos disponíveis e aumentar a eficiência na execução dos projetos. Diversos autores propuseram abordagens para esse desafio, priorizando a minimização do tempo total de conclusão (*makespan*) e a melhoria na utilização dos recursos, contribuindo para uma gestão mais eficiente e estratégica dos projetos.

Dentre as opções analisadas, optou-se pelo modelo proposto por Sánchez *et al* (2023) devido a sua similaridade com o problema abordado neste trabalho, permitindo uma análise comparativa direta com as soluções adotadas pela empresa objeto do estudo de caso. Além disso, o modelo se destaca por sua flexibilidade em cenários com restrições de recursos, oferecendo mais soluções de sequenciamento.

Sendo assim, por equilibrar desempenho e aplicabilidade prática, o modelo de Sánchez *et al* (2023) está alinhado aos objetivos desta pesquisa. Além de contribuir para a minimização de custos decorrentes de atrasos, o estudo busca fortalecer a qualidade dos produtos ou serviços entregues, promovendo maior satisfação dos clientes e consolidando a posição competitiva da organização no mercado.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos caracterizam a finalidade do projeto e podem ser subdivididos em objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Aplicar um modelo para sequenciamento de múltiplos projetos com restrição de recursos em uma empresa atuante do setor da construção civil.

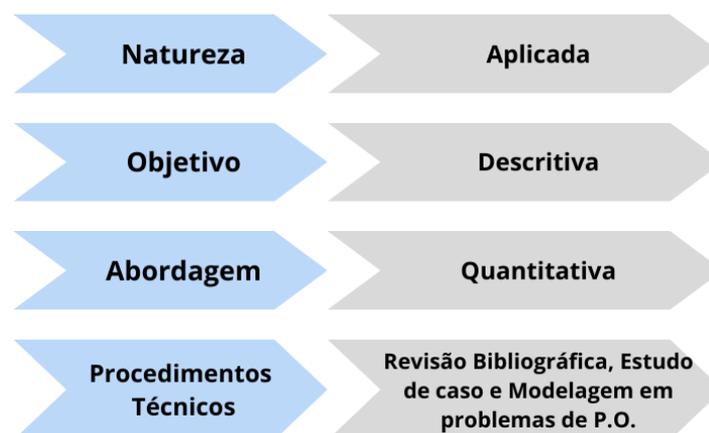
1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar as abordagens existentes na literatura para a alocação de recursos em múltiplos projetos e identificar os principais desafios e limitações desses métodos.
- b) Identificar e analisar as variáveis críticas que influenciam no sequenciamento eficiente de recursos em projetos simultâneos;
- c) Implementar um modelo matemático para a alocação de recursos em projetos simultâneos, considerando as variáveis identificadas na etapa anterior;
- d) Realizar simulações e testes práticos do modelo implementado utilizando dados reais de projetos simultâneos anteriores a fim de validar a eficácia e a robustez do algoritmo desenvolvido.

1.3 METODOLOGIA

De acordo com Miguel *et al.*, (2010), pesquisas podem ser classificadas por natureza, objetivos, abordagem e procedimentos técnicos. Este trabalho é aplicado, pois busca resolver problemas práticos do mundo real (Mahmoudzadeh; Seyfi, 2017) é descritivo, porque busca caracterizar e detalhar o problema investigado (Scholten; De Blok; Haar, 2018) e quantitativo, ao analisar dados numéricos com base em teorias existentes (Gil, 2019). Além disso, adota procedimentos bibliográficos, modelagem em pesquisa operacional e estudo de caso, conforme Yin (2017), para investigar fenômenos em seus contextos reais. A revisão da literatura desempenha papel essencial ao fundamentar o estudo com fontes indexadas e relevantes (Wazlawick, 2010).

Figura 2 - Estrutura metodológica do trabalho



Fonte: O autor (2025).

Esta abordagem metodológica visa estabelecer uma estrutura sólida para o sequenciamento eficiente de recursos em projetos, alinhando-se aos objetivos organizacionais e às demandas específicas da gestão de projetos.

Prosseguindo com a aplicação da metodologia, a implementação do modelo de otimização de agendamento de projetos com restrições de recursos (RCPSP) teve início com uma revisão da literatura existente. Seguindo as diretrizes de Tamala *et al.* (2022) a revisão sistemática foi conduzida em três principais etapas: (1) planejamento da revisão; (2) coleta e seleção de artigos; e (3) análises dos dados e resultados.

No planejamento da revisão, estudos preliminares orientaram a identificação de temas e palavras-chave principais, sendo elas definidas da seguinte forma: (i) ("resource sequencing" OR "simultaneous projects" OR "The Resource-Constrained Multi-Project Scheduling Problem" OR "construction management") AND ("project management" OR "project manager") inseridos nos campos de título e resumo.

Para a realização da pesquisa, foram selecionadas as bases de dados Web of Science, Science Direct e Scopus, devido à sua ampla cobertura temática, elevado rigor metodológico e reconhecida credibilidade no meio científico. Essas plataformas concentram publicações de alto impacto, o que assegura um levantamento bibliográfico abrangente, confiável e atualizado sobre o problema de programação de projetos com restrições de recursos.

Na fase de coleta e seleção, critérios de elegibilidade foram aplicados para refinar a busca, considerando exclusivamente artigos de pesquisa com acesso aberto. Além disso, critérios de exclusão foram estabelecidos para eliminar artigos duplicados e fora do escopo da investigação. O levantamento bibliográfico foi conduzido entre fevereiro e outubro de 2024. A Tabela 1 apresenta os resultados dos artigos selecionados para esta revisão de literatura:

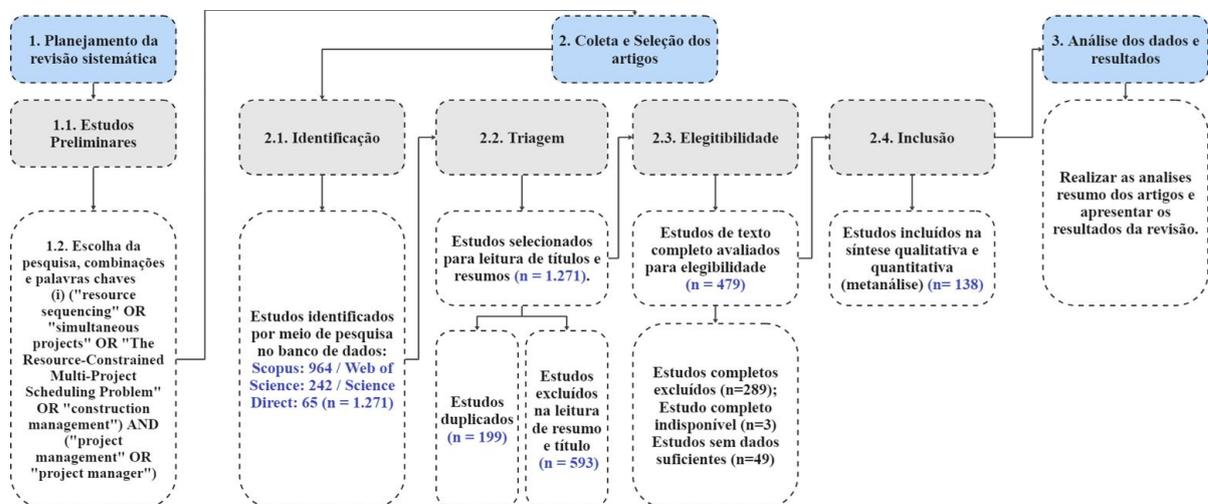
Tabela 1 - Status de Avaliação dos Artigos

Status	Artigos	%
Artigos Duplicados	199	15,66%
Recusados após leitura do título	127	9,99%
Recusado após leitura do resumo	466	36,66%
Recusado após leitura completa	289	22,74%
Recusado por dados insuficientes	49	3,86%
indisponível para leitura	3	0,24%
Aprovado após leitura completa	138	10,86%
Total=	1271	100%

Fonte: Teixeira e Alencar (2024)

Conforme apresenta na tabela acima, após a busca realizada nas bases de pesquisa *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct* o resultado foram 1271 artigos encontrados. O próximo passo foi aplicar filtros para refinar as análises, o primeiro foi remover os artigos duplicados, sendo descartado 16%, 10% foram recusados após a leitura do título, 37% após a leitura do resumo, 23% após a leitura completa e 4% devido a dados insuficientes. Apenas 0,2% dos artigos estavam indisponíveis para leitura. No final, 11% dos artigos foram aprovados após a leitura completa. O resultado final é que de 1271 artigos apenas 138 foram aprovados. Uma versão mais detalhada desta análise pode ser encontrada em Teixeira e Alencar (2024). De forma resumida, a Figura 2 mostra o fluxograma das etapas dessa pesquisa.

Figura 3 - Fluxograma da revisão sistemática da literatura.



Fonte: O autor (2025).

Com base na revisão sistemática da literatura, foram identificadas abordagens existentes de alocação de recursos e que servirão de embasamento para esta pesquisa. A metodologia deste estudo é organizada em três etapas, conforme apresentado no fluxograma, a Etapa 1 consiste no planejamento e na revisão sistemática, onde são definidas a pesquisa, as palavras-chave e suas respectivas combinações.

A Etapa 2 envolve a coleta e seleção dos artigos, durante a qual são aplicados os filtros necessários para identificar os estudos a serem incluídos na revisão da literatura. Por fim, a Etapa 3 é dedicada à análise e resumo dos artigos, bem como à apresentação dos resultados da revisão.

Dando continuidade, o estudo de caso adotado nesta pesquisa aborda a alocação de mão de obra em múltiplos projetos simultâneos no setor da construção civil, destacando os desafios para uma gestão eficiente dos recursos. A modelagem adotada baseia-se no problema de agendamento de múltiplos projetos com restrições de recursos (RCMPSP), utilizando técnicas para minimizar o *makespan* e equilibrar a carga de trabalho. O modelo desenvolvido considera restrições reais, como disponibilidade limitada de trabalhadores e a necessidade de sequenciamento eficiente das atividades. Dessa forma, busca-se aprimorar o planejamento e reduzir custos operacionais.

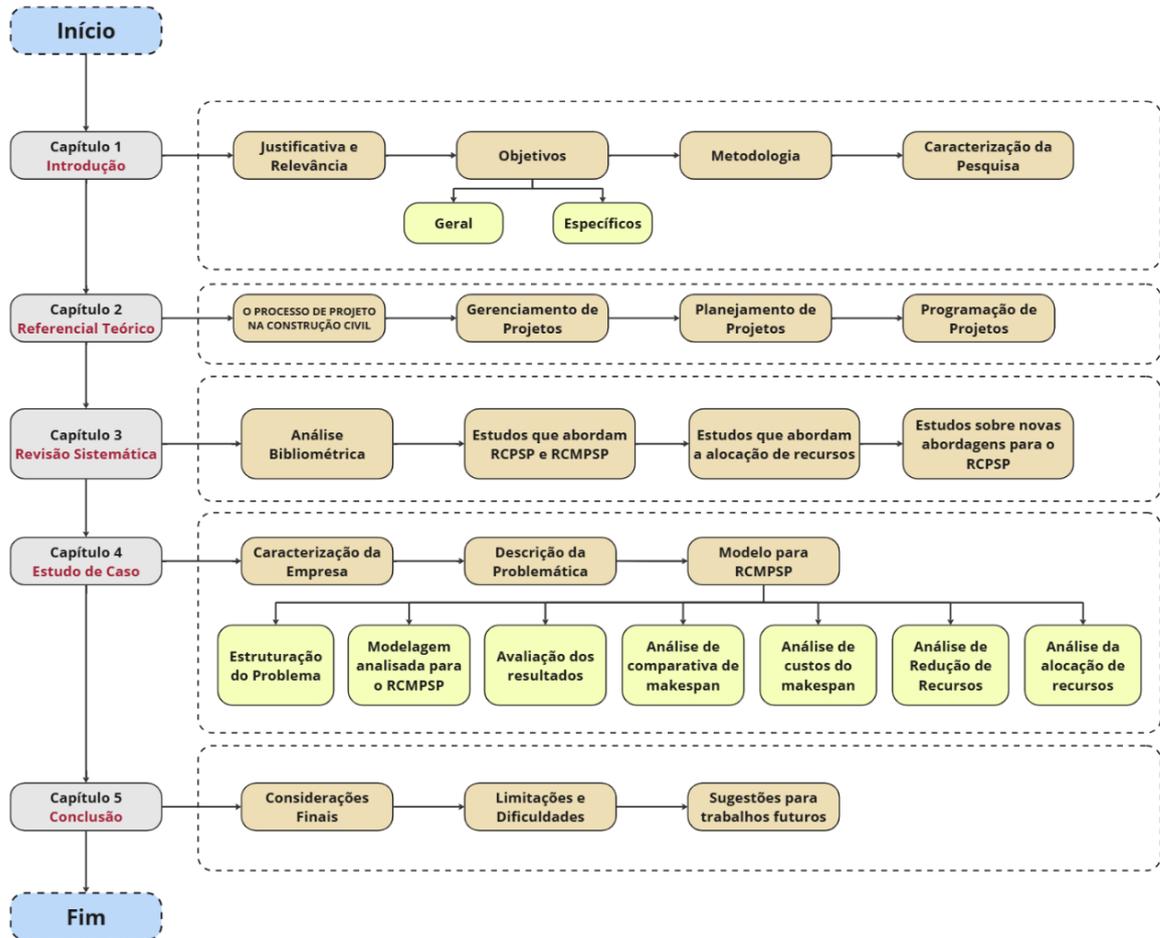
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este tópico apresenta a estrutura do estudo, sendo ele composto por sete capítulos. O Capítulo atual apresenta a introdução com a exposição da temática e da problemática da pesquisa, além da justificativa e dos objetivos geral e específicos. Ainda no Capítulo 1 é descrito a metodologia adotada, incluindo as classificações, instrumentos, procedimentos, e técnicas de pesquisa utilizados no estudo. O Capítulo 2 é dedicado ao embasamento teórico, onde são discutidos os principais conceitos e termos frequentemente relacionados ao tema escolhido.

No Capítulo 3, realiza-se uma revisão da literatura, abordando o estado da arte sobre o agendamento de recursos em projetos simultâneos e realizando um estudo de caráter bibliométricos sobre o assunto. Dando sequência para o Capítulo 4, ele apresenta o modelo proposto para o realizar a alocação de recursos em projetos simultâneos. O Capítulo 5 é realizado a aplicação e análise dos resultados dos testes computacionais aplicados para o problema proposto, além de relatar os resultados obtidos com a aplicação do no sistema produtivo da empresa. Finalmente, o Capítulo 6 encerra o trabalho, destacando as conclusões da dissertação, assim como os impactos sociais, ambientais e econômicos resultantes, apontando as limitações do estudo e sugerindo direções para futuras pesquisas. Em seguida, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas.

Sendo assim, a Figura 4 apresenta o fluxograma da estrutura deste trabalho, de forma a facilitar o entendimento acerca da estrutura de execução desta pesquisa.

Figura 4 - Estrutura do trabalho



Fonte: O autor (2025)

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo explora conceitos relacionados ao desempenho na gestão de projetos, destacando a importância da alocação de recursos para o cronograma como fator chave para o sucesso do projeto, além de explorar um tópico sobre essa aplicação em projetos simultâneos.

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é um setor marcado por alta complexidade, grandes investimentos e prazos rigorosos. Nesse contexto, o modo como os projetos são planejados e conduzidos influencia diretamente os resultados da obra. Por isso, a gestão do processo de projeto tornou-se uma etapa estratégica e essencial para alinhar planejamento, execução e entrega (Domingues; Ribeiro, 2023; Kostalova; Tetreanova; Svedik, 2015).

O projeto, nesse setor, não se resume a plantas e desenhos. Ele envolve um conjunto de fases, como estudo preliminar, anteprojeto, projeto executivo e compatibilização, que exigem decisões técnicas, análises financeiras e integração entre múltiplas disciplinas, como arquitetura, engenharia estrutural, elétrica e hidráulica (Garcia; Russo, 2019; McGrath; Kostalova, 2020).

A gestão de projetos organiza e controla essas atividades, buscando garantir que os objetivos sejam atingidos dentro dos limites de custo, prazo e qualidade. Ferramentas como cronogramas, orçamentos, análise de riscos e KPIs são amplamente utilizadas nesse processo (Azevedo *et al.*, 2018). Além disso, guias como o PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) têm sido adotadas para padronizar processos, definir responsabilidades e melhorar a comunicação entre as equipes (IPMA., 2015; PMI, 2021).

Além dos aspectos técnicos, a gestão do projeto também depende de fatores humanos e organizacionais. Liderança, comunicação e alinhamento entre os envolvidos são fundamentais para o sucesso do empreendimento (Almeida; Ramos Filho, 2019). Assim, aplicar práticas eficazes de gestão desde as etapas iniciais do projeto contribui significativamente para a eficiência, a redução de custos e a qualidade das construções (Crawford; Pollack, 2007; Fonseca, 2021).

2.2 GERENCIAMENTO DE PROJETOS

A era da globalização tem impulsionado o desenvolvimento de infraestruturas em escala global, onde a construção civil desempenha um papel central. Esse cenário dinâmico não apenas promove a expansão física das cidades e regiões, mas também impõe uma série de complexidades e desafios únicos no gerenciamento de projetos (Anke; Ringeisen, 2021; Domingues; Ribeiro, 2023; Harwardt, 2020; Kiani Mavi; Standing, 2018; Rehan; Thorpe; Heravi, 2024; Sánchez *et al.*, 2023; Sicotte; Delerue, 2021)

Segundo Memon *et al.*, (2023) a gestão de projetos teve sua gênese no gerenciamento de grandes projetos de engenharia e construção. Ela é uma disciplina vital que envolve a aplicação de conhecimentos, habilidades e técnicas para alcançar objetivos específicos dentro de limites temporais e orçamentários (Banica *et al.*, 2017; Dandage *et al.*, 2018; Demirkesen Çakır; Ozorhon, 2017; Di Muro; Turner, 2018, 2018; Gomes; Romão; Bento, 2024; Grandhi *et al.*, 2021; Kostalova; Tetrevoa; Svedik, 2015; McGrath; Kostalova, 2020; Takagi; Varajão, 2020) e por sua natureza, são temporários e únicos, com metas e entregas definidas (IPMA., 2015; PMI, 2021).

De acordo com Locatelli; Pankratz e Bastes; Crawford e Pollack (2007; 2023; 2018) o gerenciamento de projetos tem três principais objetivos: concluir o projeto dentro do prazo estipulado, dentro do orçamento previsto e atendendo às especificações de qualidade. Atrasos no cronograma e desvios no orçamento podem gerar consequências indesejadas (Demirkesen Çakır; Ozorhon, 2017), frequentemente resultando em insatisfação por parte dos clientes com o resultado do projeto (Murray, 2003; Terzieva; Morabito, 2016). Nesse contexto, uma gestão eficaz do escopo desempenha um papel crucial no sucesso do projeto (Fageha; Aibinu, 2013; Gomes; Romão, 2015).

Vargas (2003) afirma que todo projeto tem como objetivo inter-relacionar fatores relativos à performance (qualidade), custo e tempo, sendo esses a relação mais importante entre dois fatores do projeto. A Figura 5 mostra a relação entre custo e tempo:

Figura 5 - Evolução do custo com o tempo do projeto



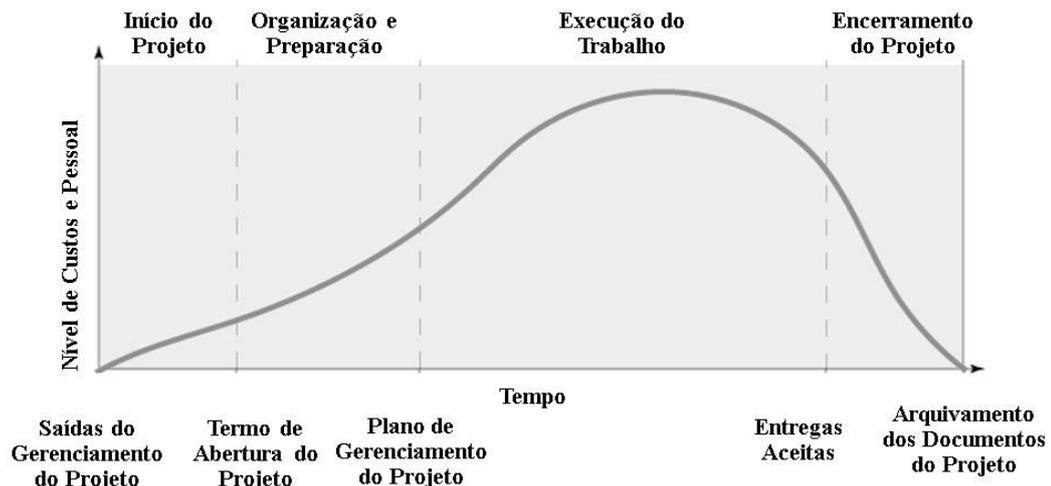
Fonte: O autor (2025).

Segundo Gray e Larson (2018) a relação entre esses critérios pode variar dependendo da situação, por exemplo, em alguns casos, pode ser necessário fazer concessões no escopo do projeto para concluí-lo mais rapidamente ou com menores custos. Muitas vezes, quanto mais tempo o projeto leva para ser concluído, maior será o custo envolvido.

Prosseguindo, os projetos são gerenciados de acordo com o ciclo de vida e são compostos por fases sequenciais, ou sobrepostas (Kanski; Pizon, 2023; Lacerda; Martens; Maccari, 2015; PMI, 2021). Neste sentido, o desempenho do projeto é um conceito amplo à medida que envolve os objetivos de todas as partes interessadas ao longo do ciclo de vida do projeto (Bjorvatn; Wald, 2018).

Nesse contexto, existem nos ciclos de vida do gerenciamento de projetos certos requisitos, ou etapas, que devem ser atendidos ou concluídos, caso contrário, o projeto não pode passar de uma fase para a próxima, é como uma análise de resultados que desencadeia uma decisão sobre o início do próximo estágio (Barajei *et al.*, 2024; Lenfle, 2011). Assim, conforme apresentado na Figura 6, as etapas do ciclo de vida do projeto são caracterizadas por uma abordagem de *checklist*, descrevendo as sequências de fases pelas quais o projeto irá evoluir e necessariamente atender aos seus requisitos (Watson, 2009).

Figura 6 - Estrutura de ciclo de vida de um projeto.



Fonte: Adaptado de Project Management Institute (2021)

Com isso, conforme Figura 6 detalha, a estrutura do ciclo de vida de um projeto é definido em quatro partes, sendo elas:

- I. Iniciação do Projeto;
- II. Organização e Preparação;
- III. Execução do trabalho e
- IV. Encerramento do Projeto.

Importante saber que a gestão do ciclo de vida dos projetos integra todas as etapas dos projetos (Gouveia; Montavão; Brito, 2010). Logo, é através da implantação de projetos que as empresas aumentam vendas, reduzem custos, criam produtos/serviços, melhoram a qualidade, elevam a satisfação dos clientes e mudam processos (Cserhádi; Szabó, 2014; Demirkesen Çakır; Ozorhon, 2017; Kerzner, 2011; Nassar; AbouRizk, 2014; Saurabh Patil *et al.*, 2021).

2.3 PLANEJAMENTO DE PROJETOS

O planejamento é a base para a execução bem-sucedida de um projeto, permitindo que as equipes trabalhem de forma coordenada e eficiente. Dentro do planejamento organizacional, existem três níveis distintos: o Planejamento Estratégico, Tático e Operacional (Misni; Lee, 2017). A Figura 7 detalha esses níveis de planejamento:

Figura 7 - Níveis de Planejamento



Fonte: Adaptada de Paula (2015)

É importante entender que o planejamento estratégico é focado no longo prazo, abrangendo decisões de alto nível que impactam toda a organização (Oliveira, 2007). O Planejamento Tático, por sua vez, é de médio prazo e busca a implementação das estratégias, distribuindo responsabilidades para áreas e departamentos específicos (Idalberto, 1983). Já o Planejamento Operacional concentra-se no curto prazo, detalhando as ações cotidianas e os processos necessários para atingir as metas estabelecidas no nível tático e estratégico (Assumpção, 1990).

Dessa forma, enquanto o planejamento estratégico, tático e operacional define diretrizes organizacionais, a programação de projetos, apresentada no tópico a seguir, é essencial para otimizar a alocação de recursos, garantindo a execução eficiente das atividades dentro dos prazos e metas estabelecidos.

2.4 PROGRAMAÇÃO DE PROJETOS

A programação de projetos é um aspecto fundamental do gerenciamento, visando organizar e otimizar a alocação de atividades ao longo do tempo. Nesse contexto, destacam-se o RCPSP e o RCMPSP, que abordam a alocação eficiente de recursos limitados em ambientes com um ou vários projetos simultâneos.

2.4.1 Programação de projetos com restrição de recursos

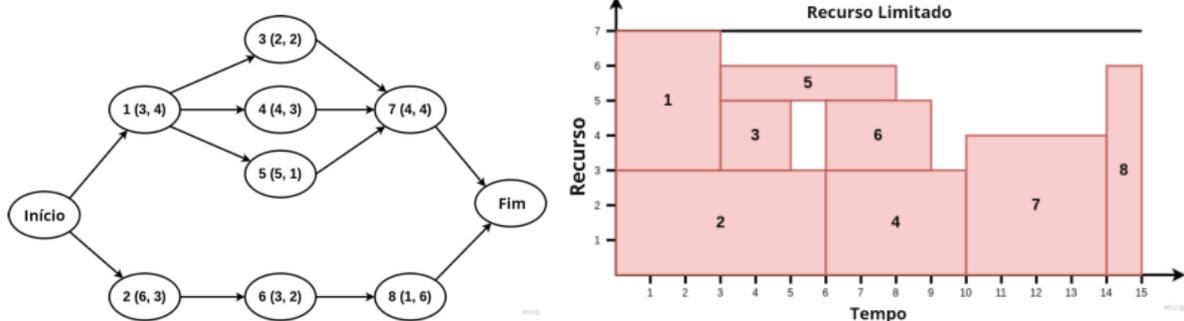
Segundo Sánchez *et al* (2023) com o desenvolvimento dos processos industriais, o aumento das linhas de produção e consumo, no início da década de 1960, surgiu a necessidade de realizar um estudo do planejamento e controle de projetos considerando a existência de recursos limitados.

Dentro do gerenciamento de projetos, o problema de RCPSP é um tradicional problema que consiste na alocação de recursos a determinadas atividades de um projeto (Hartmann, 2013; Sawant *et al.*, 2024; Schutt; Deng; Stoehr, 2013). Trata-se de um dos problemas de programação que mais atrai a atenção de pesquisadores e profissionais devido à sua complexidade computacional, conhecida como NP-difícil (Chakraborty; Sarker; Essam, 2017; Rahman; Chakraborty; Ryan, 2020).

Dessa forma, o RCPSP consiste em agendar os tempos de início de processamento de várias tarefas que fazem parte de um projeto, otimizando uma função objetivo dada, enquanto respeita a disponibilidade de recursos existente e as restrições de precedência (Golab *et al.*, 2023; Ninpan *et al.*, 2024). Ou seja, uma tarefa só pode começar a ser executada quando suas tarefas predecessoras forem concluídas e houver recursos disponíveis suficientes (Cavalcante; Cardonha; Herrmann, 2013; Hung Chen, 2011; Vanhoucke; Coelho, 2021; Wang; Lin; Zhang, 2020; Zaman *et al.*, 2024).

Sendo assim, o RCPSP é um problema bem estudado e visa programar um conjunto predefinido de atividades com um mínimo de tempo de execução do projeto, de modo que tanto as relações tecnológicas quanto a disponibilidade limitada dos recursos renováveis sejam satisfeitas (Servranckx; Coelho; Vanhoucke, 2024; Shahabi-Shahmiri *et al.*, 2024). A Figura 8 apresenta um exemplo de um diagrama de atividades e um possível cronograma aplicado a uma instância do RCPSP.

Figura 8 - Diagrama de nó e um cronograma para o problema de RCPSP



Fonte: Adaptado de Shelvin Chand et al. (2022)

A figura acima mostra uma instância do RCPSP, representada por um diagrama de nós. Nesse diagrama, cada nó representa uma atividade do projeto, onde tem-se apenas um recurso disponível ($K = 1$), sendo cada nó identificado por $i(d_i; r_i)$ onde d_i é a duração e r_i é o requisito de recurso da atividade i . As setas entre os nós indicam as restrições de precedência, ou seja, a ordem em que as atividades devem

ser realizadas. A solução ótima para este projeto, que aparece no cronograma ao lado, tem uma duração total de 15 períodos. O *makespan* mínimo, ou duração total do projeto, na situação sem restrição de recursos, é igual ao comprimento do caminho crítico. No entanto, em muitos casos, a adição de restrições de recursos faz com que a duração do projeto seja maior do que o comprimento do caminho crítico, aumentando o *makespan*, como ocorre no exemplo da Figura 1. A Equação (1), desenvolvida por Demeulemeester e Herroelen (1992), apresenta a formulação matemática clássica do RCPSP.

$$\text{Minimize } f_N \quad (1)$$

Sujeito a

$$f_i \leq f_j - d_j, \forall (i,j) \in H, \quad (2)$$

$$f_1 = 0, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in st} r_{ik} \leq a_k, \forall k = 1, \dots, K; \quad 1, \dots, f_n. \quad (4)$$

Onde:

- a_k : A disponibilidade total do recurso tipo k ;
- d_j : duração da atividade i ;
- f_j : data de término da atividade i ;
- N : número de atividades no projeto;
- H : conjunto de pares de atividades indicando relações de precedência Final-início;
- K : número de tipos de recurso;
- r_{ik} : a quantidade de recursos do tipo k que é requerida pela atividade i ;
- St : conjunto de atividades em progresso durante o intervalo de tempo.

$$(t - 1, t] = \{t/fi - di < t < fi\},$$

A função objetivo do problema é minimizar o *makespan*, ou seja, o tempo total necessário para concluir todas as tarefas do projeto, respeitando as restrições de precedência e capacidade de recursos. O conjunto de restrição (2) garante que as atividades sejam realizadas em conformidade com as relações de precedência definidas no conjunto H . O conjunto de restrição (3) estabelece que a primeira atividade deve começar no tempo zero. O conjunto de restrição (4) assegura que o consumo de recursos não ultrapasse a disponibilidade a_k para cada tipo de recurso

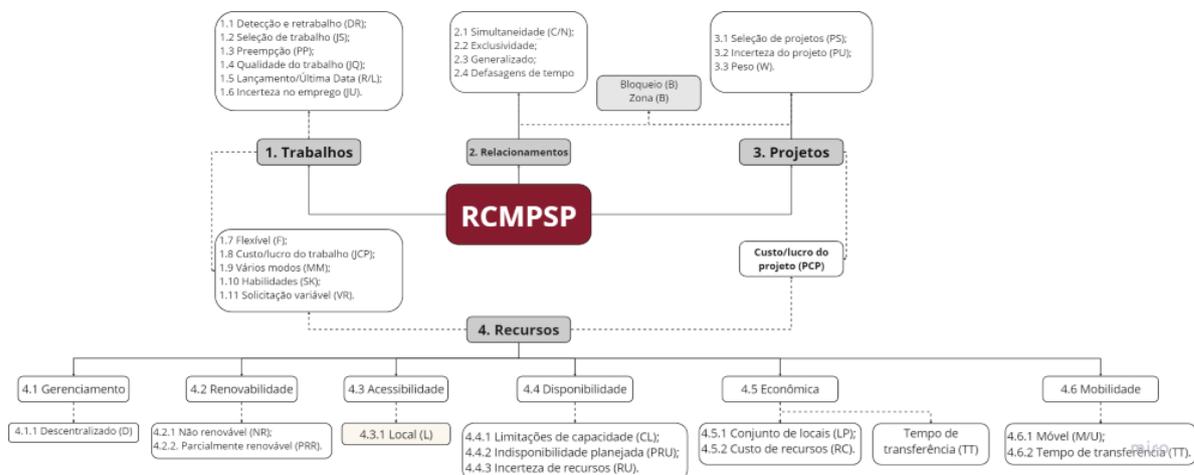
k em qualquer período de tempo t , levando em conta as atividades em execução (St). Dessa forma, o modelo busca otimizar a alocação de recursos e o agendamento das atividades, garantindo o cumprimento de todas as restrições e minimizando o tempo total de conclusão do projeto.

2.4.2 Programação de múltiplos projetos com restrição de recursos

O RCMPSP pode envolver um único projeto ou vários projetos, sendo a forma clássica de abordagem do problema considera apenas um modo de processamento para cada atividade, entretanto, quando existe mais de um projeto sendo executado ao mesmo tempo é apresentado o problema de agendamento multiprojeto com restrição de recursos (RCMPSP) onde vários projetos devem ser executados simultaneamente, competindo pelo uso de recursos (Artigues; Roubellat, 2000; Beşikci; Bilge; Ulusoy, 2015; Demeulemeester; Herroelen, 2002; Snauwaert; Vanhoucke, 2021).

Essa extensão também envolve adicionar os tempos de chegada de cada projeto à linha de produção. Nesse sentido, o RCMPSP tem sido uma das extensões mais estudadas e implementadas no nível empresarial em diferentes setores da indústria (Alvarez-Campana *et al.*, 2024; Sánchez *et al.*, 2023). A Figura 9 apresenta a classificação das variantes do RCMPSP.

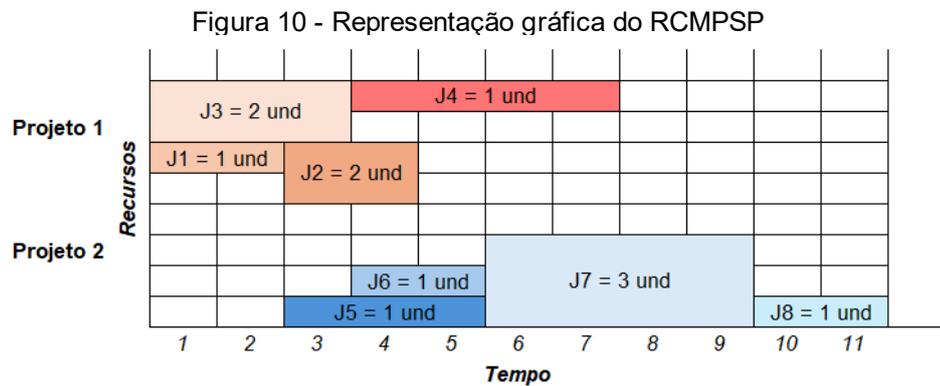
Figura 9 - Classificação das variantes RCMPSP



Fonte: Adaptado de Sánchez *et al.*, (2023)

O mapa conceitual apresentado na Figura 9 organiza os principais elementos que influenciam no RCMPSP, fornecendo uma base abrangente para modelar e solucionar problemas de planejamento e sequenciamento. Outra forma de

representação do RCMPSP se dá por meio de um gráfico de *Gantt*, conforme apresentado na Figura 10.



Fonte: O autor (2025)

As tarefas estão identificadas pela letra "J" seguida do número correspondente, com as tarefas **J1** a **J4** pertencentes ao Projeto 1 e as tarefas **J5** a **J8** associadas ao Projeto 2. O eixo *x* representa a duração de cada tarefa em unidades de tempo, enquanto o eixo *y* indica a quantidade de recursos necessários. Por exemplo, a tarefa J1, do Projeto 1, exige 1 unidade de recurso e será concluída em 2 unidades de tempo.

2.5 PROJETOS SIMULTÂNEOS

A gestão de projetos simultâneos, caracterizada pela execução paralela de múltiplos projetos dentro de uma organização, tem recebido crescente atenção de pesquisadores e profissionais devido às suas potenciais vantagens estratégicas. Essa abordagem visa acelerar o tempo de entrega, aumentar a eficiência operacional e fomentar a inovação (Bouchlaghem, 2012; Clark; Wheelwright, 1993; Fabricio; Melhado, 2002).

De acordo com dados apresentados por Bem Issa *et al.*, (2021) no início deste século, 84% das empresas em todo o mundo estavam trabalhando em vários projetos simultaneamente, onde a gestão eficiente e eficaz de recursos foi destacada como um fator-chave para o sucesso de longo prazo das empresas. Segundo Alencar e Santana (2010), o ambiente de múltiplos projetos é identificado pela competição de recursos disponíveis da organização para cada projeto, porém, muitas empresas não têm à disposição recursos suficientes para todos os projetos. Na visão de Melo *et al.*, (2006), atualmente a maior parte das organizações trabalham com múltiplos projetos em sua carteira, porém, grande parte da literatura, aborda os projetos de forma isolada.

No entanto, a implementação bem-sucedida de projetos simultâneos não está isenta de desafios. A alocação eficiente de recursos, a coordenação entre equipes de projetos distintas e a gestão das interdependências entre as atividades de diferentes projetos emergem como fatores críticos (Shenhar *et al.*, 2001).

Shelbourn (2012) explica que para conceber um projeto simultâneo, e para serem efetivas as soluções integradas deste projeto é fundamental a colaboração de todos os agentes envolvidos na produção.

2.6 SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES

De acordo com Kerzner (2017), o sequenciamento tem como objetivo organizar e alocar os recursos de maneira que as atividades críticas do projeto sejam concluídas dentro do cronograma sem comprometer a qualidade ou os custos. Quando os recursos são limitados, essa alocação precisa ser ajustada para evitar a paralisação de atividades e atrasos. Bowers *et al.*, (2005) observa que um dos principais desafios no processo de sequenciamento é a gestão das interdependências entre atividades e projetos.

Uma das ferramentas mais comuns para visualizar esse sequenciamento é o Gráfico de *Gantt*, que funciona como uma representação visual de um cronograma. Essa ferramenta permite acompanhar o progresso das atividades e facilita a supervisão do andamento do trabalho (Krajewski; Malhotra; Ritzman, 2017). O gráfico exibe a distribuição dos recursos ao longo do tempo, com os recursos dispostos no eixo vertical e o tempo representado no eixo horizontal, conforme ilustrado na Figura 11.



Fonte: O autor (2025)

O gráfico de *Gantt*, apresentado na Figura 11, mostra a execução das atividades de um projeto ao longo do tempo. Vale ressaltar que esse gráfico não é uma ferramenta de otimização, ele apenas auxilia no desenvolvimento de programações alternativas (Caldas, 2003). Ainda sobre recursos, Herroelen e Leus (2005) apontam que a incerteza na disponibilidade deles e as mudanças frequentes no escopo do projeto podem dificultar o sequenciamento, aumentando o risco de falhas. Para mitigar esses desafios, eles sugerem o uso de modelos de simulação que ajudem os gestores a preverem cenários de escassez de recursos e a fazer ajustes proativos no cronograma.

Em seu trabalho, Hwang e Lim (2013) afirma que é comum que os projetos sejam lançados com falta de recursos e de uma programação bem definida, com isto, ocasiona uma repriorização entre os projetos, subprojetos e tarefas. Em outras palavras, quando o prazo de algum projeto está vencendo, ele passa a ser prioridade, em outro momento posterior, ele pode ser deixado em um segundo plano em função de outro que esteja na mesma situação.

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi apresentada a base conceitual necessária para contextualizar a problemática do agendamento de projetos com restrição de recursos, em projetos simultâneos, ressaltando a convergência dos temas com o desempenho em Gestão de Projetos.

Inicialmente, realizou-se uma análise sobre a gestão de projetos, enfatizando sua relevância no escopo da pesquisa. Esse tema oferece um fundamento sólido para compreender o conceito de gerenciamento de projetos e sua importância na condução de iniciativas bem-sucedidas, possibilitando um entendimento mais aprofundado das práticas e metodologias aplicáveis.

Na sequência, foram discutidos os conceitos relacionados ao Agendamento de Projetos com Restrição de Recursos (RCPSP) e a variação de múltiplos projetos (RCMPSP), com ênfase na definição e no sequenciamento das atividades de um projeto, levando em consideração tanto a disponibilidade limitada de recursos quanto as dependências entre essas atividades. Esse aspecto é crucial para o desempenho e o sucesso dos projetos, pois, com um sequenciamento otimizado, torna-se possível minimizar o tempo total de conclusão (*makespan*), garantindo uma utilização eficiente dos recursos e o cumprimento das metas estabelecidas.

Foram ainda explorados os principais conceitos relacionados a projetos simultâneos e a alocação de recursos, destacando suas respectivas importâncias no contexto da Gestão de Projetos e do RCPSP. Essa integração contribui diretamente para o sucesso dos projetos e, por conseguinte, das organizações.

Gerenciar projetos implica tomar decisões, lidar com mudanças e analisar cenários e alternativas de ação. Nesse sentido, o próximo capítulo apresenta os resultados obtidos na revisão da literatura, que foi realizada por meio da exploração de pesquisas já desenvolvidas, destacando as principais aplicações do RCPSP e RCMPSP na gestão de projetos, além de identificar lacunas e oportunidades de pesquisa.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, será apresentada uma revisão da literatura relacionada à aplicação da alocação de recursos em projetos simultâneos, utilizando os termos apresentados na seção 1.3.1. Primeiramente, é apresentada uma análise bibliométrica, com o objetivo de avaliar e mapear a produção científica sobre esse tema e, em seguida, a descrição e análise dos artigos encontrados.

A princípio, serão examinadas as pesquisas mais relevantes na área de alocação de recursos, com foco nas estratégias e abordagens que têm sido utilizadas para minimizar a duração dos projetos. Além disso, será destacada a importância da alocação de recursos como um componente crítico da gestão de projetos e sua relevância para o desempenho organizacional. Também será apresentada uma revisão da literatura sobre os estudos previamente desenvolvidos no âmbito do tema proposto.

3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A análise bibliométrica apresentada nesta subseção visa avaliar e mapear a produção científica, fornecendo indicadores detalhados sobre as características dos estudos que abordam problemas de alocação de recursos em projetos simultâneos (Amaral *et al.*, 2019; Merigó, 2016).

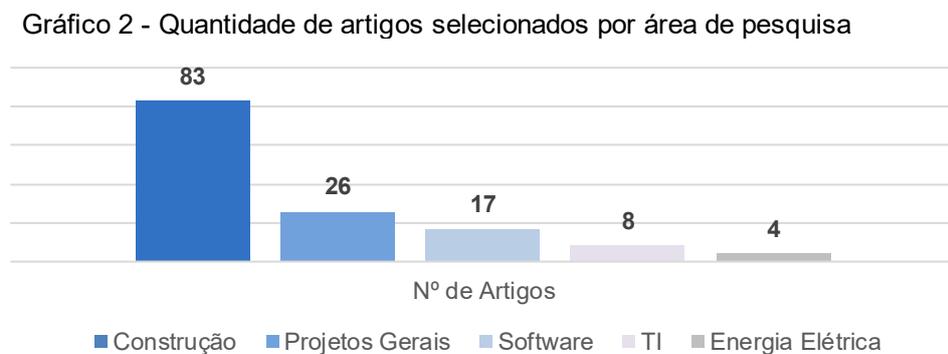
Para identificar essas tendências, costuma-se utilizar a bibliometria, que realiza um estudo quantitativo dos materiais bibliográficos (Habes *et al.*, 2020; Machona; Chikodzi; Sithole, 2017). Os trabalhos foram organizados em subgrupos com base em seu conteúdo, avaliando objetivos, métodos e análises. Essa categorização permitiu identificar desafios e lacunas, respondendo aos questionamentos da pesquisa. A Figura 12 ilustra as palavras-chave mais representativas da busca.

Figura 12 - Representação das palavras correlacionadas a pesquisa



Fonte: Teixeira e Alencar (2024)

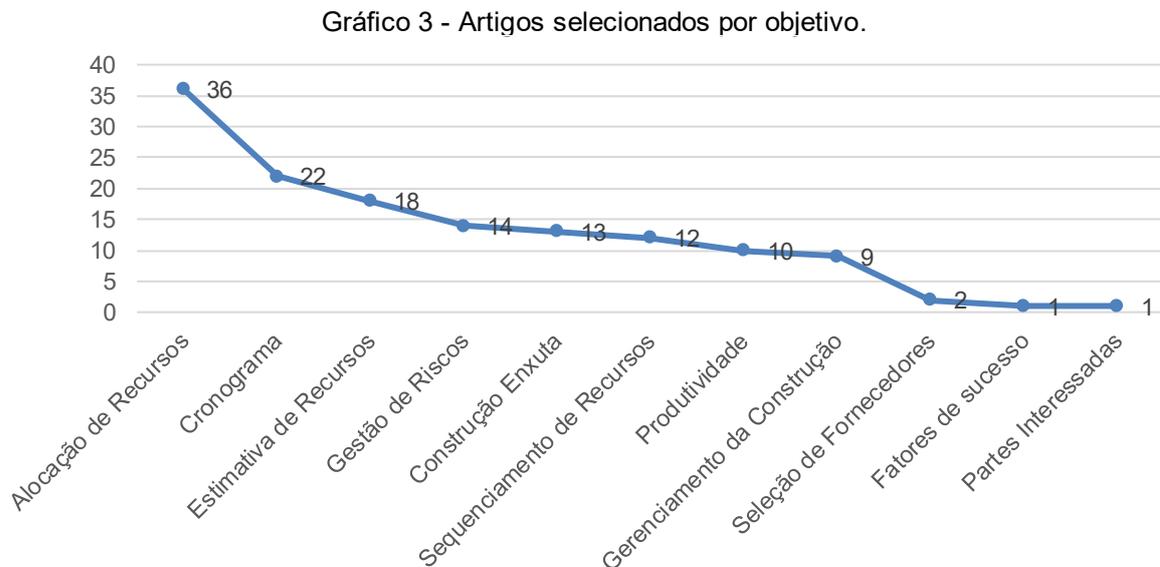
A análise evidenciou que "gestão de projetos" e "gerenciamento da construção" foram os termos mais frequentes, refletindo uma ênfase na administração de projetos e gerenciamento setorial. Essa tendência é confirmada por Teixeira e Alencar (2024), que apontam a construção civil como líder em representação no campo de pesquisa, conforme Gráfico 2 abaixo:



Fonte: Adaptado de Teixeira e Alencar (2024)

Dando sequência, a área de Projetos Gerais, que é uma área genérica de aplicação de projetos, ocupa o segundo lugar, com 26 trabalhos, refletindo um interesse abrangente em metodologias e práticas aplicáveis a uma variedade de projetos. Seguindo a ordem temos as áreas de *Software*, TI e Energia Elétrica respectivamente. No total, foram analisados 138 trabalhos, evidenciando uma diversificação de interesses, com uma predominância clara da área de construção.

O Gráfico 3 tem como objetivo proporcionar uma compreensão mais detalhada dos tópicos específicos abordados em cada área destacada no Gráfico 2.



Fonte: Adaptado de Teixeira e Alencar (2024)

A análise de 138 estudos sobre gestão de projetos e construção revela uma distribuição diversificada de objetivos. Os resultados demonstram que:

- a. A Alocação de Recursos é o tema mais prevalente (34%), destacando a importância da otimização;
- b. O Cronograma e a Estimativa de Recursos são também bem representados (23% e 18%);
- c. A Gestão de Riscos e Construção Enxuta demonstram preocupações com eficiência operacional (14% e 13%);
- d. A Alocação de Recursos apresenta interesse significativo (12%).

Esses resultados indicam a necessidade de pesquisas complementares em Gerenciamento da Construção, Produtividade e Seleção de Fornecedores.

3.2 ESTUDOS QUE ABORDAM O RCPSP E RCMPSP.

Diversos estudos têm se aprofundado no RCPSP e no RCMPSP, com foco na otimização dos prazos de execução dos projetos e na minimização do tempo total necessário para sua conclusão (Sánchez *et al.*, 2023; Ben Issa; Patterson; Tu, 2021; Chakraborty; Sarker; Essam, 2017; Ding; Zhuang; Liu, 2023; Liu *et al.*, 2023;

Myszkowski; Laszczyk, 2022; Saad *et al.*, 2021; Vanhoucke; Coelho, 2021; Villafáñez *et al.*, 2020).

De acordo com Kong e Dou (2021), duas abordagens podem ser empregadas para resolver esses desafios: algoritmos exatos e algoritmos metaheurísticos. Dentre os algoritmos exatos, tem se destacado técnicas como *Branch and Bound* (Alipouri, 2021; Fouilhoux *et al.*, 2018), programação linear inteira mista (Laurent *et al.*, 2017) e programação de restrição (Kreter; Schutt; Stuckey, 2017), que têm sido amplamente utilizadas.

As heurísticas tem sido amplamente utilizadas no agendamento de projetos devido à sua natureza intuitiva e aplicabilidade (Liu; Zhang; Liu, 2021; Myszkowski *et al.*, 2018; Pellerin; Perrier; Berthaut, 2020). Além disso, os métodos metaheurísticos são especialmente populares para resolver problemas de agendamento, visto que podem originar soluções de alta qualidade e relevância prática (Kong; Dou, 2021). A Tabela 2 mostra as metaheurísticas que estão sendo mais utilizadas para resolver o problema de RCPSP e RCMPSP.

Tabela 2 - Algoritmos Metaheurísticos para o problema de RCPSP.

Autores		Algoritmos Metaheurísticos
RCPSP	RCMPSP	
Van der Beek et al., 2024	Satic et al. (2022);	
Liu et al. (2023)	Fu & Zhou (2021);	
Saad et al. (2021)	Uysal et al. (2021);	
Akhbari (2020)	Van Eynde & Vanhoucke (2020);	a) Algoritmo Genético (GA).
Kadri e Boctor (2018)	Pérez et al. (2016).	
Ma et al. (2018)	Gonçalves et al. (2015);	
Golab et al. (2022)		
Zheng et al. (2018)	Afshar-Nadjafi (2018)	b) Recozimento simulado (SA).
		c) Algoritmo Híbrido de Otimização por Cuckoo (COA);
		d) Algoritmo Híbrido de Otimização por Enxame de Lobos (GWO);
Akhbari (2020)		e) Algoritmo Híbrido de Otimização por Enxame de Partículas (PSO).
Kumar et al. (2019)		j) Algoritmo de Pesquisa Tabu
Tian et al. (2019)		k) GA Híbrido com Algoritmo de Estimativa de Distribuição
Ghoddousi, Ansari e Makui (2017)		l) Algoritmo Genético de Classificação Não Dominado

Fonte: O autor (2025)

Os estudos desenvolvidos por Beek *et al.*, (2024); Liu *et al.* (2021); Saad *et al.*, (2021); Akhbari, (2020); Kadri; Boctor, (2018); Ma *et al.*, (2015); Satic; Jacko; Kirkbride, (2022); Fu e Zhou (2021); Sonmez; Uysal, (2015); Van Eynde; Vanhoucke, (2020); Pérez *et al.*, (2016) e Gonçalves *et al.*, (2015) abordam a utilização de Algoritmo Genético (GA) na resolução do RCPSP e RCMPSP. Mesmo ele sendo eficiente na exploração de grandes espaços de solução, não é ideal para este estudo devido à sua tendência à convergência prematura, o que pode resultar em soluções subótimas. Além disso, exige um ajuste fino de parâmetros, tornando sua implementação mais complexa e demorada.

Já Golab *et al.*, (2023); Zheng *et al.*, (2018); e Afshar-Nadjafi *et al.*, (2018) analisaram a metaheurística de Recozimento Simulado (SA), inspirada no processo de recozimento metálico, que permite escapar de máximos locais ao aceitar soluções piores temporariamente. Embora seja eficaz na exploração do espaço de busca, seu tempo de convergência é elevado, tornando-o computacionalmente custoso, especialmente para problemas complexos como o RCMPSP. Por esse motivo esse estudo não foi escolhido para analisar o modelo.

Outro estudo é o de Akhbari (2020) que analisa Algoritmos Híbridos (COA, GWO, PSO), onde eles combinam diferentes técnicas para melhorar a qualidade das soluções encontradas. Ele não foi escolhido pelo fato de apresentar dificuldades em lidar com as restrições rígidas do RCMPSP. Esses algoritmos são mais eficazes para otimização contínua, mas podem não garantir soluções viáveis em problemas altamente restritos.

Dando sequência, Kumar (2019) analisou a aplicação com Pesquisa Tabu (TS), que é uma estratégia que impede soluções repetitivas, melhorando a busca global. No entanto, ela acaba sendo sensível à escolha dos parâmetros e por esse motivo não foi escolhida. Outro estudo analisado foi o de Tian *et al.*, (2020), onde ele analisa a influência de Algoritmo Genético Híbrido com Algoritmo de Estimativa de Distribuição, entretanto, esse estudo não foi escolhido porque, embora essa abordagem possa melhorar a exploração e convergência, ela ainda apresenta desafios na garantia de viabilidade das soluções no RCMPSP. A necessidade de satisfazer múltiplas restrições rígidas pode exigir mecanismos complexos de reparação, aumentando o tempo de processamento e reduzindo a eficiência.

Por fim, Ghoddousi *et al.*, (2017) analisou o Algoritmo Genético de classificação não dominado (NSGA), esse estudo também não foi escolhido porque, apesar de ser eficaz para problemas multiobjetivo, ele pode ter dificuldades em lidar com as restrições rígidas do RCMPSP sem um mecanismo adicional de reparação ou penalização. Além disso, a convergência para soluções factíveis pode ser mais lenta, exigindo um ajuste fino dos operadores genéticos.

Outras abordagens eficazes que vem sendo utilizadas para resolver o problema do RCPSP e RCMPSP são destacadas na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Outros métodos para o problema do RCPSP e RCMPSP

Autores	Métodos
Sánchez et al. (2023)	a) Programação Inteira Mista
Yuan et al. (2021)	b) Algoritmo de Coevolução Cooperativa Híbrida (HCOEA)
Wang et al. (2020)	c) Caminho Crítico (CPM)
Kaveh & Vazirinia (2019)	d) Algoritmo de Otimização do Sistema de Partículas Vibratórias Caóticas (CVPS)
	e) Sistema de Partículas Vibratórias (VPS)
Moradi et al. (2019)	f) Modelo de Otimização Robusta (RO);
	g) Valor de Shapley;
	h) Núcleo Max-Min;
	i) Método de Lucro Igual.
Issa e Tu (2017)	j) B&B de método exato
Oztemel e Selam (2017)	l) Meta-heurística BCO
Geiger (2017)	m) Heurística VNS&ILS
EL-Abbasy et al. (2017)	n) Algoritmo Evolutivo de Pareto Forte (SPEA).
	o) Algoritmo Genético de Ordenação Não Dominada (NSGA-II).
Gajpal e Elazouni, 2015	p) Algoritmo de Deslocamento.

Fonte: O autor (2025)

Métodos como o HCOEA de Yuan *et al.*, (2021) e VPS/CVPS de Kaveh & Vazirinia (2019) apresentam boas capacidades de exploração, mas podem ter dificuldades em lidar com restrições rígidas. Técnicas como CPM de Wang *et al.*, (2020) e B&B exato de Bem Issa *et al.*, (2021) são eficientes para problemas de pequeno e médio porte, pois oferecem soluções precisas e determinísticas. No entanto, quando aplicados a problemas complexos e de grande escala, como o RCMPSP, esses métodos podem se tornar inviáveis devido ao aumento exponencial do tempo de processamento. O CPM é útil para identificar o caminho crítico em projetos, mas não lida bem com múltiplos projetos concorrendo por recursos limitados. Já o Branch & Bound pode fornecer soluções ótimas, mas seu alto custo

computacional torna-o impraticável para instâncias com um grande número de variáveis e restrições.

Modelos baseados em otimização robusta e teoria dos jogos, como o de Moradi *et al.*, (2019) são mais voltados para cenários de incerteza do que para um sequenciamento detalhado de tarefas. Já abordagens evolucionárias, como *SPEA* e *NSGA-II* de EL-Abbasy *et al.*, (2014), podem exigir ajustes extensivos para garantir soluções factíveis. Por fim, heurísticas como *VNS&ILS* de Geiger (2017) e *BCO* de Oztemel & Selam (2017) são eficazes na busca por soluções subótimas, mas podem não garantir a precisão necessária ao modelo estudado. Esses estudos não foram escolhidos porque, apesar de suas contribuições para otimização e agendamento, suas abordagens não se alinham completamente com as necessidades do problema de agendamento de múltiplos projetos com restrições de recursos (RCMPSP).

A pesquisa desenvolvida por Sánchez *et al.*, (2023) apresentou compatibilidade com o estudo de caso deste trabalho e por isso foi escolhido para ser aplicada. O modelo que ele apresenta utiliza ferramentas adotadas na construção civil, permitindo uma comparação direta com o sequenciamento aplicado no estudo de caso. Seu objetivo principal, compatível com a necessidade do estudo de caso, é minimizar o tempo total de execução das atividades, garantindo que os recursos disponíveis sejam utilizados da forma mais eficiente. Além disso, o modelo respeita as relações de precedência entre as tarefas e possibilita flexibilidade na definição dos momentos de início das atividades. Essas características tornam sua aplicação adequada para cenários reais, especialmente na construção civil, onde a alocação eficiente de recursos e a redução de atrasos são fatores essenciais para o sucesso dos projetos.

Ainda sobre o assunto, Kong e Dou (2021) e Liu *et al* (2021), afirmam que a heurística é incorporada em *software* de gerenciamento de projetos comerciais, como o Oracle Primavera® e o Microsoft Project®. No entanto, para resolver problemas de agendamento de projetos do tipo RCPSP e seus problemas relacionados, esses programas comerciais de *software* de gerenciamento de projetos fornecem capacidades muito limitadas (Bettemir; Sonmez, 2015; Liu *et al.*, 2020), entretanto, Kong e Dou (2021) afirmam que, em comparação com várias outras abordagens, o CP *Optimizer*®, não tão conhecido, é uma poderosa ferramenta para resolver problemas de agendamento com restrições de recursos, ele usa um algoritmo exato com base em métodos híbridos para encontrar a solução ideal (Laborie, 2018).

3.3 ESTUDOS QUE ABORDAM O SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES

A capacidade de sequenciar recursos tem sido amplamente estudada, destacando-se a importância da alocação eficiente de recursos como fator essencial para o sucesso dos projetos (Abdolshah, 2014; Al-Refaie *et al.*, 2023; Ortíz Pimiento; Diaz Serna, 2020; Zhu *et al.*, 2017). Muitos estudos ressaltam a necessidade de equilibrar a execução de atividades em múltiplos projetos com a limitação de recursos, visando maximizar a eficiência (Kadri; Boctor, 2018; Sánchez *et al.*, 2023; Souza; Welerson, 2025).

O planejamento reativo e a habilidade de gerenciar incertezas no cronograma estão sendo amplamente discutidos na literatura, especialmente em projetos onde os recursos estão sujeitos a falhas ou interrupções (García-Nieves *et al.*, 2018b; Hosseinian; Baradaran, 2019). Nesse contexto, a adaptabilidade do cronograma se torna essencial para assegurar a continuidade e eficiência das operações, minimizando os impactos de eventos imprevistos que possam comprometer o andamento do projeto (Chakraborty; Rahman; Ryan, 2020; Ma *et al.*, 2015; Palacio; Larrea, 2017).

3.4 ESTUDOS SOBRE NOVAS ABORDAGENS PARA O RCPSP

Fora os métodos já descritos e conhecidos, Xie *et al.*, (2021) utiliza uma abordagem de RCPSP sob custo de atividade incerto (MRCPSP-UAC) com o objetivo de minimizar o risco de estouro de custo do projeto a partir de aplicações em planejamento de produção e gerenciamento de projetos; Mao e Yuan (2024) apresentam o agendamento multiprojeto descentralizado com restrição de recursos (DRCMPSP), onde o objetivo é analisar o atraso médio e total do projeto utilizando uma heurística baseada na regra de prioridade (PR) que é desenvolvida para coordenar a alocação global de recursos. A Tabela 4 apresenta outras abordagens encontradas sobre RCPSP.

Tabela 4 - Novas abordagem para o problema do RCPSP

Autor	Abordagem
Liu et al (2024)	a) Programação de projeto multimodo estocástico com restrição de recursos (SMRCPSP) b) Esquema de geração de programação serial - SSGS; c) Esquema de geração de programação paralela - PSGS.
Kong e Dou (2021)	d) Agendamento de projeto com base em recursos sob restrições de múltiplos tempos (RCPSP/MTC).

Chakrabortty et al. (2021)	e) Abordagem de agendamento reativo, chamada Event Based Reactive Approach (EBRA)
Rahman et al. (2020)	f) Algoritmo genético baseado em algoritmo memético (MA) para resolver RCPSP
Sallam et al. (2020)	g) Algoritmo de evolução diferencial (DE) multioperador de dois estágios, chamado TS-MODE para resolver o RCPSP
Nemati-Lafmejani et al. (2019)	h) Problema de Programação de Projetos com Restrições de Recursos Multimodo (MRCPSP) aplicado ao problema de Seleção de Contratos (CS)
Chand et al. (2019)	i) Hiper-heurística de programação genética (GPHH) através de um esquema multiobjetivo (MO-GPHH) para RCPSP.
Joshi et al. (2019)	j) Programação de projetos com restrição de recursos multi-habilidades (MSRCPSP) para investigação.
Azevedo et al. (2019)	k) Problema de agendamento de projeto com base em recursos com restrições de precedência generalizada (RCPSP/MAX).
Wang et al. (2018)	l) RCPSP com duração de atividade distribuída exponencialmente e dois tipos de retrabalho aleatório.
Li e Dong (2018)	m) Nivelamento de recursos multimodo em projetos com relações de precedência generalizadas modo-dependentes (Multimode Resource Leveling in Projects with mode-dependent Generalized Precedence Relations - MRLP-GPR).

Fonte: O autor (2025)

Os estudos analisam diferentes abordagens para o problema de programação de projetos com restrições de recursos (RCPSP) e suas variantes. Liu *et al.*, (2024) exploraram o SMRCPSP (Programação de Projeto Multimodo Estocástico com Restrição de Recursos), utilizando os esquemas SSGS (*Serial Scheduling Generation Scheme*) e PSGS (*Parallel Scheduling Generation Scheme*) para criar cronogramas considerando diferentes modos de execução. Kong e Dou (2021) estudaram o RCPSP/MTC, que incorpora múltiplos tempos de execução para as atividades, aumentando a flexibilidade do planejamento. Chakrabortty *et al.*, (2020) desenvolveram o *Event-Based Reactive Approach* (EBRA), uma abordagem de agendamento reativo, permitindo ajustes dinâmicos no cronograma conforme novos eventos ocorrem. Já Rahman et al. (2020) aplicaram um Algoritmo Memético (MA) baseado em Algoritmo Genético, combinando busca global e refinamento local para melhorar soluções do RCPSP.

Sallam *et al.*, (2021) propuseram o TS-MODE, um algoritmo de evolução diferencial (DE) multioperador de dois estágios, otimizando a alocação de recursos no RCPSP. Outra análise foi a de Nemati-Lafmejani *et al.*, (2019) adaptaram o MRCPSP (Problema de Programação de Projetos com Restrições de Recursos Multimodo) para o contexto de Seleção de Contratados (CS), ajudando a escolher prestadores de serviços com diferentes capacidades. Seguindo, Chand *et al.*, (2019) desenvolveram uma hiper-heurística de programação genética (GPHH) dentro de um esquema multiobjetivo (MO-GPHH), buscando equilibrar múltiplas métricas no RCPSP. Joshi *et al.*, (2019) estudaram o MSRCPS (Programação de Projetos com Restrição de Recursos Multi-Habilidades), analisando como diferentes níveis de qualificação impactam a alocação de tarefas.

Azevedo *et al.*, (2015) investigaram o RCPSP/MAX, onde as restrições de precedência são mais flexíveis e permitem relações generalizadas entre atividades. Wang *et al.*, (2020) modelaram o RCPSP com duração de atividades distribuída exponencialmente, incorporando retrabalho aleatório, o que torna a previsão dos prazos mais desafiadora. Dando seguimento, Li e Dong (2018) propuseram um modelo para nivelamento de recursos multimodo em projetos com relações de precedência generalizadas modo-dependentes (MRLP-GPR), visando suavizar a demanda de recursos ao longo do tempo. Analisando o FBRCPS (Agendamento de Projeto Baseado em Financiamento e Recursos Restritos).

Não se limitando, Kong e Dou (2021) exploram uma variedade de abordagens, sem se restringir, como RCPSP com relações de precedência generalizadas (Bianco; Caramia; Giordani, 2016); RCPSP com calendários de recursos (Kreter; Schutt; Stuckey, 2017); RCPSP com atividades multimodo (Fernandes Muritiba; Rodrigues; Araújo Da Costa, 2018; Nemati-Lafmejani; Davari-Ardakani; Najafzad, 2019); RCPSP com parâmetros incertos (Bruni *et al.*, 2017); e RCPSP com múltiplos objetivos (Xiao *et al.*, 2016).

Dando sequência, Yeganeh e Zegordi (2020) propuseram uma abordagem de otimização multiobjetivo para criar cronogramas de projeto resilientes, levando em conta restrições de recursos e durações incertas das atividades. Outra abordagem é a que Çakır *et al.*, (2022) apresenta, integrando o clássico agendamento de projetos multimodo com restrição de recursos (MRCPSP) e problemas discretos de *trade-off* de tempo-custo (DTCTP), pode ser visto como um problema mais aplicável, pois

reflete melhor os objetivos e requisitos dos aplicativos de projetos de *software* da vida real de hoje.

Dessa forma, o modelo analisado e proposto para esse estudo foi apresentado por Sánchez *et al.*, (2023), ele aborda o agendamento de recursos através do RCMPSP, onde o objetivo principal é minimizar o makespan, que é o tempo total necessário para concluir todos os projetos.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo apresentou uma revisão abrangente da literatura sobre o agendamento de múltiplos projetos com restrições de recursos, destacando as principais metodologias e tendências da área. A análise bibliométrica permitiu mapear a produção científica, evidenciando estratégias voltadas para a minimização da duração dos projetos e sua importância para o desempenho organizacional.

Foram explorados modelos matemáticos e algoritmos evolutivos aplicados a alocação de recursos, além de lacunas na pesquisa, ressaltando a relevância deste estudo tanto para o avanço acadêmico quanto para aplicações empresariais. O modelo proposto foca na minimização do makespan, otimizando a alocação de recursos por meio de restrições fundamentais que garantem um planejamento eficiente.

Por fim, a formulação matemática e o algoritmo analisado, desenvolvido por Sánchez *et al.*, (2023), organizam as tarefas de forma estratégica, respeitando precedências e limitações de recursos. Espera-se que os resultados contribuam para a redução de atrasos e a maximização do uso dos recursos, reforçando a aplicabilidade do modelo em cenários reais.

4 ESTUDO DE CASO

Para demonstrar a aplicabilidade do modelo, foi realizado um estudo de caso com uma empresa do setor da construção civil.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A escolha da empresa analisada nesta pesquisa baseia-se na relevância do seu porte, pela quantidade de projetos conduzidos simultaneamente, na compatibilidade entre suas atividades e os objetivos do estudo, além da facilidade de acesso às informações necessárias para a realização da pesquisa. Ela foi fundada em 2003, em Pernambuco, a organização atua no setor da construção civil, com foco em habitações residenciais horizontais, contabilizando mais de 17 mil casas vendidas. Sua presença é marcante em diversos municípios, como Belo Jardim, Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe, Garanhuns, Igarassu, Jaboatão dos Guararapes, São Lourenço e Itaitinga-CE, exercendo papel relevante no desenvolvimento econômico local. O estudo foi conduzido nas unidades gerenciais básicas de Caruaru, Garanhuns e Igarassu, selecionadas por compor projetos que representam maior complexidade no âmbito técnico e por serem financeiramente mais representativas dentro da empresa. Juntas, essas unidades entregaram aproximadamente 1.000 casas em 2024, empregando mais de 800 colaboradores. A empresa possui uma estrutura organizacional na qual a alta direção conduz o planejamento estratégico, estabelecendo objetivos e metas, enquanto os demais colaboradores atuam de forma alinhada para garantir o alcance dos resultados e o êxito das operações.

4.2 DESCRIÇÃO DA PROBLEMÁTICA

A construtora enfrenta o desafio de gerenciar a alocação de mão de obra de forma limitada em projetos que são executados de forma simultânea. Esse cenário resulta em conflitos na distribuição dos trabalhadores, gerando atrasos nos cronogramas, ociosidade ou sobrecarga das equipes, além de elevar os custos operacionais. A ausência de um planejamento eficiente para o sequenciamento desses recursos compromete a produtividade e dificulta a entrega dos projetos dentro dos prazos estabelecidos.

Atualmente, o planejamento da equipe é baseado na experiência dos gestores, que utilizam seu conhecimento prático e o histórico de obras para distribuir as equipes. Embora essa abordagem permita a gestão realizar um planejamento, a falta de um

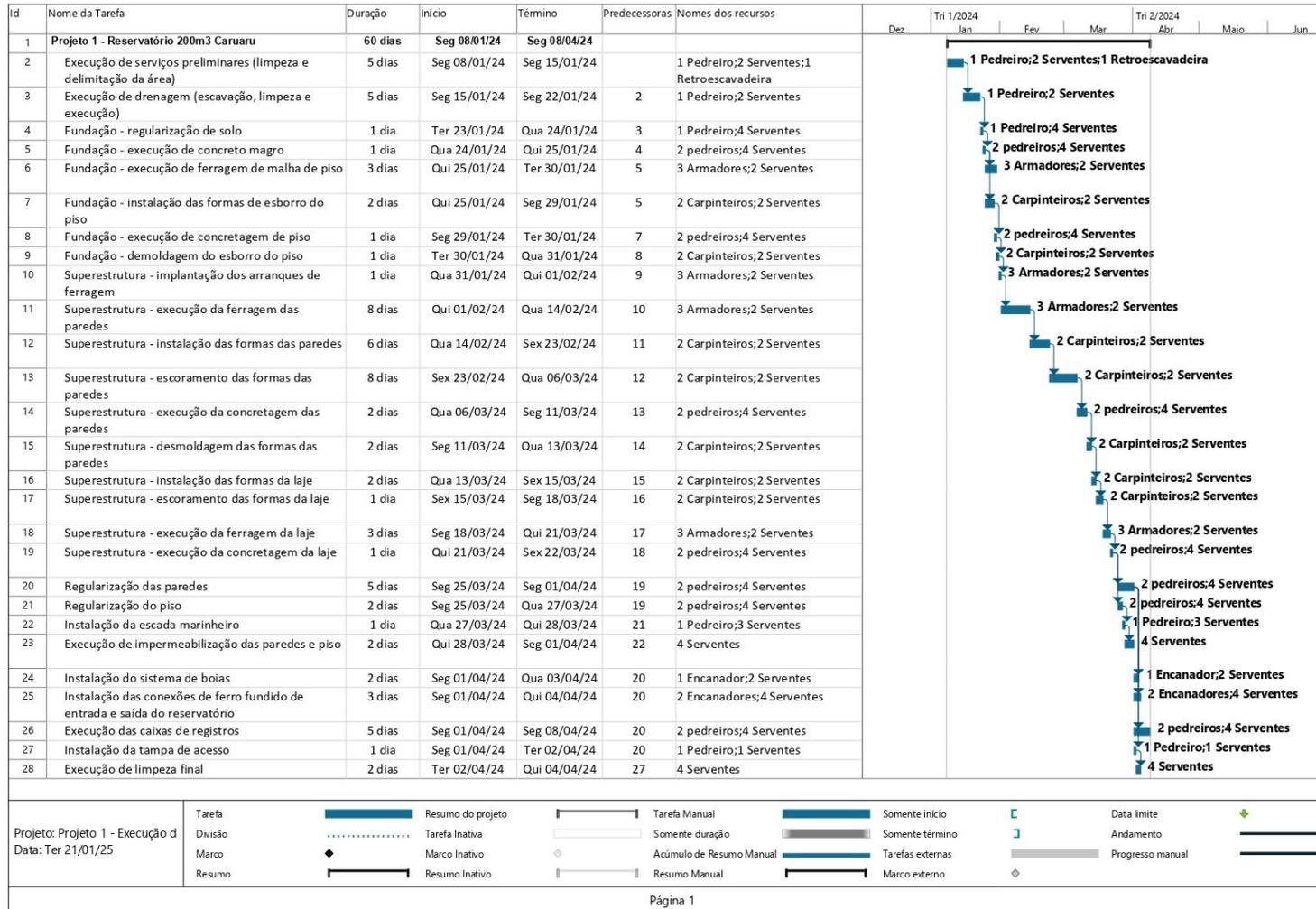
método sistemático aumenta o risco de decisões ineficientes, tornando o processo vulnerável a imprevistos como atrasos e sobrecargas. Essa lacuna organizacional impacta diretamente o desempenho operacional e dificulta a conclusão eficiente dos projetos.

Para superar esse cenário, é fundamental implementar um modelo para o RCMPSP. Essa abordagem sistemática permite um planejamento mais estruturado, priorizando o sequenciamento ideal das atividades e equilibrando a demanda entre os projetos, mesmo com recursos limitados. Ao aplicar o modelo, a construtora pode organizar melhor o fluxo de trabalho, evitar sobreposições, minimizar atrasos e maximizar a produtividade das equipes, assegurando maior eficiência e entregas consistentes, além de fortalecer sua competitividade no mercado.

Nesse contexto a proposta de Sánchez *et al.*, (2023) se adequa por oferecer uma abordagem sistemática para o agendamento de recursos em múltiplos projetos, alinhando-se diretamente ao problema investigado. Por possuir uma função objetivo para minimizar o *makespan*, o modelo possibilita um planejamento mais eficiente das atividades, reduzindo atrasos e ociosidade na alocação da mão de obra. Além disso, sua estrutura considera restrições reais de recursos, tornando-se uma solução aplicável ao cenário da construção civil, onde a gestão eficiente do tempo e dos trabalhadores é fundamental para a viabilidade dos projetos.

A Figura 13 apresenta o cronograma físico desenvolvido pela empresa no *software* comercial *Microsoft Project*® para um dos projetos analisados, os outros quatro são apresentados no apêndice. Esses cronogramas serão utilizados como base de comparação com o cronograma gerado pelo modelo, com o objetivo de avaliar o ganho real obtido. Cada tarefa nos cronogramas inclui informações como a duração estimada em dias, as atividades predecessoras que devem ser concluídas antes de seu início, além da quantidade e do tipo de recursos necessários para sua execução.

Figura 13 - Cronograma desenvolvido pela empresa para o Projeto 1



Fonte: O autor (2025)

Embora o *Microsoft Project*® seja uma ferramenta amplamente utilizada para o planejamento e controle de projetos, ele apresenta limitações no sequenciamento de atividades. O *software* depende, em grande parte, de ajustes manuais para redistribuir atividades em cenários de restrição de recursos, o que pode levar a soluções com um maior tempo de execução dos projetos. Além disso, sua abordagem pode não garantir a minimização do *makespan*, especialmente em ambientes com múltiplos projetos concorrendo pelos mesmos recursos. Como diferencial, o modelo selecionado de Sánchez *et al.*, (2023) busca facilitar a alocação de recursos, considerando simultaneamente precedências e restrições, gerando um cronograma mais eficiente, reduzindo atrasos e melhorando a utilização dos recursos disponíveis.

4.3 MODELO PARA SEQUENCIAMENTO DE MÚTIPLoS PROJETOs COM RESTRIÇÃO DE RECURSOS

Esta seção apresenta a estruturação do problema e o modelo analisado para o sequenciamento de múltiplos projetos com restrição de recursos, baseado no RCMPSP.

4.3.1 Estruturação do Problema

Para a construção do modelo, foram utilizados dados de cinco projetos com características semelhantes e recursos em comum, que precisam ser sequenciados de forma eficiente. Conforme descrito na seção 4.2, a construtora enfrenta desafios na gestão da alocação de mão de obra limitada em projetos simultâneos.

Atualmente, o planejamento das equipes é baseado na experiência dos gestores, que utilizam seu conhecimento prático e o histórico de obras para distribuir os trabalhadores. Diante desse cenário, torna-se fundamental a implementação de estratégias que otimizem essa alocação e minimizem os impactos da gestão manual.

Para solucionar esse problema, foram considerados os seguintes dados:

- a. Recursos (tipo e quantidade total da organização), que está detalhado na Tabela 5;
- b. Projetos (quantidade), que está representado na Tabela 6;
- c. Tarefas de cada projeto (quantidade, duração, precedências e quantidade de recursos associados a cada uma), que está representado na Tabelas 7 e apêndices A, B, C, D, E e F.

Tabela 5 - Disponibilidade de Recursos

ID	Recurso Quant. Disponível	Quant. Disponível
R1	Pedreiro	60
R2	Servente	50
R3	Encanador	8
R4	Eletricista	8
R5	Armador de ferragem	8
R6	Carpinteiro	8
R7	Retroescavadeira	10

Fonte: O autor (2025)

Esses valores são essenciais para o planejamento e organização das atividades, considerando as restrições de recursos durante a execução do projeto. A Tabela 6 apresenta um resumo da quantidade de projetos analisados e o número de tarefas associadas a cada um deles.

Tabela 6 - Quantidade de Projetos e de Tarefas

proj	n_tarefas
1	27
2	27
3	20
4	23
5	23

Fonte: O autor (2025)

Todos os projetos analisados têm início na mesma data, levando em consideração a execução simultânea das tarefas e o uso compartilhado dos recursos entre eles. A Tabela 7 apresenta as informações detalhadas sobre as tarefas do Projeto 1, enquanto os detalhes dos demais projetos podem ser consultados nos Apêndices A ao D.

Tabela 7 - Detalhamento do projeto 1

Tarefas	Duração	Pred	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	5	0	1	2	0	0	0	0	1
2	5	1	1	2	0	0	0	0	0
3	1	2	1	4	0	0	0	0	0
4	1	3	2	4	0	0	0	0	0
5	3	4	0	2	0	0	3	0	0
6	2	4	0	2	0	0	0	2	0
7	1	6	2	4	0	0	0	0	0
8	1	7	0	2	0	0	0	2	0
9	1	8	0	2	0	0	3	0	0
10	8	9	0	2	0	0	3	0	0
11	6	10	0	2	0	0	0	2	0
12	8	11	0	2	0	0	0	2	0
13	2	12	2	4	0	0	0	0	0
14	2	13	0	2	0	0	0	2	0
15	2	14	0	2	0	0	0	2	0
16	1	15	0	2	0	0	0	2	0

17	3	16	0	2	0	0	3	0	0
18	1	17	2	4	0	0	0	0	0
19	5	18	2	4	0	0	0	0	0
20	2	18	2	4	0	0	0	0	0
21	1	20	1	3	0	0	0	0	0
22	2	21	0	4	0	0	0	0	0
23	2	19	0	4	1	0	0	0	0
24	3	19	0	1	2	0	0	0	0
25	5	19	2	4	0	0	0	0	0
26	1	19	1	1	0	0	0	0	0
27	2	26	0	4	0	0	0	0	0

Fonte: O autor (2025)

4.3.2 Modelagem analisada para o RCMPSP

Conforme descrito no Capítulo 3, o modelo analisado e proposto para esse estudo foi apresentado por Sánchez *et al.*, (2023), ele aborda o agendamento de tarefas através do RCMPSP. A Equação (2) detalha a construção do modelo matemático.

$$\text{Minimize } \max(t \cdot x_{tij}), i \in I, j \in N_i, t \in \{L_{ij}, \dots, U_{ij}\} \quad (1)$$

$$\sum_{t=L_{ij}}^{U_{ij}} x_{tij} = 1, \quad \forall i \in I, j \in N_i \quad (2)$$

$$\sum_{t=L_{ij}}^{U_{ij}} t \cdot x_{tij} - d_{ij} \geq \sum_{t=L_{im}}^{U_{ij}} t \cdot x_{tim}, \quad \forall i \in I, j \in N_i, m \in P_{ij} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{|I|} \sum_{j=1}^{|N|} \sum_{q=t}^{t+d_{ij}-1} c_{ij}^k x_{ij}^q \leq ak, \quad \forall k \in K, t \in \max(AD_1, AD_2, \dots, AD_{|I|}) \quad (4)$$

$$x_{ij}^t \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in I, j \in N_i, t \in \max(AD_1, AD_2, \dots, AD_{|I|}) \quad (5)$$

A seguir, apresenta-se a nomenclatura utilizada para representar os elementos que compõem a estrutura do modelo.

t → Período;

p → Índice que representa um projeto específico;

I → Conjunto de todos os projetos considerados no problema;

j → Índice que representa uma tarefa dentro do projeto;

m → Índice de uma tarefa predecessora dentro do projeto;

N_i → Conjunto de todas as tarefas do projeto i ;

P_{ij} → Conjunto de tarefas predecessoras da tarefa j no projeto i ;

L_{ij} → Limite inferior do período de execução da tarefa j do projeto i (início mais cedo permitido);

U_{ij} → Limite superior do período de execução da tarefa j do projeto i (prazo máximo permitido);

d_{ij} → Duração da tarefa j do projeto i (quantidade de períodos necessários para conclusão);

k → Índice que representa um tipo de recurso utilizado no projeto;

c_{ij}^k → Quantidade do recurso k consumida pela tarefa j do projeto i ;

ak → Disponibilidade total do recurso k (capacidade máxima disponível para alocação);

x_{tij} → Variável binária que indica se a tarefa j do projeto i é concluída no período t (1 se sim, 0 se não).

Os limites das funções são definidos a partir dos intervalos de tempo e das restrições do modelo. O intervalo $[L_{ij}; U_{ij}]$ determina a janela de execução de cada tarefa j , assegurando que sua realização ocorra dentro de um período viável. As relações de precedência garantem que uma tarefa só possa iniciar após a conclusão de suas predecessoras, impedindo execuções fora de ordem. Além disso, as restrições de capacidade controlam o consumo de recursos, evitando que a demanda exceda a disponibilidade total em cada período e garantindo uma alocação equilibrada ao longo do tempo. Para isso, o modelo considera diversas restrições, cujos detalhamentos são apresentados a seguir:

A função objetivo **(1)** minimiza o *makespan*, ou seja, o tempo total necessário para concluir todas as tarefas de todos os projetos, encontrando o menor valor de t que respeite todas as restrições e promovendo um planejamento eficiente que assegure a entrega rápida e organizada dos projetos. O conjunto de restrições **(2)** assegura que cada tarefa j de um projeto i seja concluída exatamente em um período de tempo específico, com a variável x_{tij} assumindo o valor 1 se a tarefa for completada no período t e 0 caso contrário, garantindo que a soma de x_{tij} nos períodos entre o limite inferior L_{ij} e o limite superior U_{ij} seja igual a 1, ou seja, a tarefa deve ser realizada em um único período dentro do intervalo permitido; O conjunto de restrições **(3)** impõe que a tarefa j do projeto i só possa começar após a conclusão das tarefas predecessoras m , que pertencem ao conjunto P_{ij} , garantindo que as relações de

precedência entre tarefas sejam respeitadas e evitando execuções fora de ordem; O conjunto de restrições (4) assegura que a quantidade de cada recurso k consumida pelas tarefas não ultrapasse a disponibilidade a_k em qualquer período, com o consumo do recurso k pela tarefa j representado por C_{kij} , de forma que a soma dos consumos em cada período seja menor ou igual à disponibilidade total; Por fim, o conjunto de restrições (5) define que a variável de decisão x_{tij} , que indica se a tarefa j do projeto i é concluída no período t , deve ser binária, assumindo apenas os valores 0 ou 1, o que garante que cada tarefa seja executada em um único período permitido.

Com base no conjunto de dados e nos parâmetros estabelecidos, foi realizada a implementação do modelo de RCMPSP conforme a formulação matemática apresentada. A implementação, desenvolvida na linguagem de programação Julia, possibilitou a programação eficiente das atividades dos projetos, assegurando o cumprimento das restrições de recursos e a ausência de conflitos. Para a implementação do modelo, foi utilizado o solver CBC (*Coin-or Branch and Cut*), um solucionador de programação linear inteira mista. No contexto do sequenciamento de múltiplos projetos com restrição de recursos, o CBC foi utilizado para determinar a melhor alocação de recursos ao longo do tempo, minimizando conflitos e otimizando o cumprimento dos prazos.

Continuando, a seguir será realizada a avaliação dos resultados obtidos com a aplicação do modelo, analisando seu impacto na alocação dos recursos e no desempenho global dos projetos.

4.3.3 Avaliação dos resultados

Inicialmente, foi realizado o sequenciamento com um tempo de processamento do solver de 3 horas. Esse tempo foi o inicial porque tempos menores resultaram em erros de processamento, impedindo a obtenção de uma solução viável para o problema. Assim, as Tabelas 8-12 detalham os resultados obtidos, incluindo os tempos de início e término das atividades, suas respectivas durações e a alocação de recursos por tarefa.

Tabela 8 - Alocação de Recursos do Projeto 1

Projeto 1 - Reservatório 200m3 Caruaru										
Tarefa	Início	Término	Duração	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	1	5	5	1	2	0	0	0	0	1
2	6	10	5	1	2	0	0	0	0	0
3	11	11	1	1	4	0	0	0	0	0

4	12	12	1	2	4	0	0	0	0	0
5	44	46	3	0	2	0	0	3	0	0
6	13	14	2	0	2	0	0	0	2	0
7	15	15	1	2	4	0	0	0	0	0
8	16	16	1	0	2	0	0	0	2	0
9	17	17	1	0	2	0	0	3	0	0
10	18	25	8	0	2	0	0	3	0	0
11	26	31	6	0	2	0	0	0	2	0
12	32	39	8	0	2	0	0	0	2	0
13	40	41	2	2	4	0	0	0	0	0
14	42	43	2	0	2	0	0	0	2	0
15	44	45	2	0	2	0	0	0	2	0
16	48	48	1	0	2	0	0	0	2	0
17	49	51	3	0	2	0	0	3	0	0
18	52	52	1	2	4	0	0	0	0	0
19	53	57	5	2	4	0	0	0	0	0
20	70	71	2	2	4	0	0	0	0	0
21	74	74	1	1	3	0	0	0	0	0
22	75	76	2	0	4	0	0	0	0	0
23	70	71	2	0	4	1	0	0	0	0
24	74	76	3	0	1	2	0	0	0	0
25	58	62	5	2	4	0	0	0	0	0
26	74	74	1	1	1	0	0	0	0	0
27	75	76	2	0	4	0	0	0	0	0

Fonte: O autor (2025)

Tabela 9 - Alocação de Recursos do Projeto 2

Projeto 2 - Reservatório 300m3 Igarassu										
Tarefa	Início	Término	Duração	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	1	8	8	1	2	0	0	0	0	1
2	9	18	10	0	6	0	0	0	0	0
3	19	24	6	1	4	0	0	0	0	0
4	25	27	3	2	4	0	0	0	0	0
5	28	28	1	0	2	0	0	3	0	0
6	29	31	3	0	2	0	0	0	2	0
7	32	34	3	2	4	0	0	0	0	0
8	35	36	2	0	2	0	0	0	2	0
9	37	37	1	0	2	0	0	3	0	0
10	38	39	2	0	2	0	0	3	0	0
11	40	53	14	0	2	0	0	0	2	0
12	54	62	9	0	2	0	0	0	2	0
13	63	75	13	2	4	0	0	0	0	0
14	76	79	4	0	2	0	0	0	2	0
15	80	81	2	0	2	0	0	0	2	0
16	82	84	3	0	2	0	0	0	2	0
17	85	86	2	0	2	0	0	3	0	0
18	87	90	4	2	4	0	0	0	0	0
19	91	91	1	2	4	0	0	0	0	0
20	92	103	12	2	4	0	0	0	0	0
21	104	106	3	1	3	0	0	0	0	0
22	107	107	1	0	4	0	0	0	0	0
23	108	111	4	0	4	1	0	0	0	0
24	112	113	2	0	1	2	0	0	0	0
25	114	119	6	2	4	0	0	0	0	0
26	120	124	5	1	1	0	0	0	0	0
27	125	125	1	0	4	0	0	0	0	0

Fonte: O autor (2025)

Tabela 10 - Alocação de Recursos do Projeto 3

Projeto 3 - Empreendimento Jardim das Orquídeas										
Tarefa	Início	Término	Duração	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	1	5	5	1	2	0	0	0	0	2
2	6	13	8	0	0	0	0	0	0	1
3	14	43	30	0	0	0	0	0	0	2
4	44	73	30	0	3	0	0	0	0	0
5	44	63	20	0	6	3	0	0	0	0
6	64	83	20	0	6	3	0	0	0	0
7	53	77	25	0	6	0	2	0	0	0
8	89	103	15	4	5	0	0	0	0	0
9	84	103	20	4	5	0	0	0	0	0
10	104	138	35	4	8	0	0	0	0	0
11	139	168	30	5	10	0	0	0	0	0
12	169	196	28	12	18	0	0	0	0	0
13	197	234	38	24	36	0	2	0	0	0
14	79	110	32	10	20	0	0	0	0	0
15	111	125	15	4	4	0	0	0	0	0
16	212	231	20	4	4	0	0	2	2	0
17	145	169	25	5	10	0	0	2	2	0
18	141	155	15	4	8	0	0	0	0	0
19	159	170	12	2	4	0	0	0	0	0
20	195	199	5	0	10	0	0	0	0	0

Fonte: O autor (2025)

Tabela 11 - Alocação de Recursos do Projeto 4

Projeto 4 - Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)										
Tarefa	Início	Término	Duração	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	1	2	2	0	2	0	0	0	0	1
2	3	3	1	1	2	0	0	0	0	0
3	4	8	5	0	0	0	0	0	0	2
4	10	17	8	2	5	0	0	3	2	0
5	32	36	5	2	5	0	0	3	2	0
6	54	68	15	2	5	0	0	3	2	0
7	103	107	5	1	2	0	0	0	0	0
8	96	103	8	1	2	0	0	0	0	0
9	70	77	8	2	4	0	0	0	0	0
10	78	89	12	2	5	0	0	0	0	0
11	86	87	2	2	5	0	0	0	0	0
12	90	94	5	0	4	3	0	0	0	0
13	96	97	2	0	4	3	0	0	0	0
14	108	113	6	0	2	0	2	0	0	0
15	47	56	10	2	4	0	0	0	0	0
16	60	62	3	2	4	0	0	0	0	0
17	112	113	2	1	2	0	0	0	0	0
18	112	113	2	1	2	0	0	0	0	0
19	101	105	5	1	2	0	0	0	0	0
20	102	103	2	0	2	2	0	0	0	0
21	110	111	2	1	2	0	0	0	0	0
22	106	106	1	0	2	2	0	0	0	0
23	109	110	2	0	4	0	0	0	0	0

Fonte: Autor (2025)

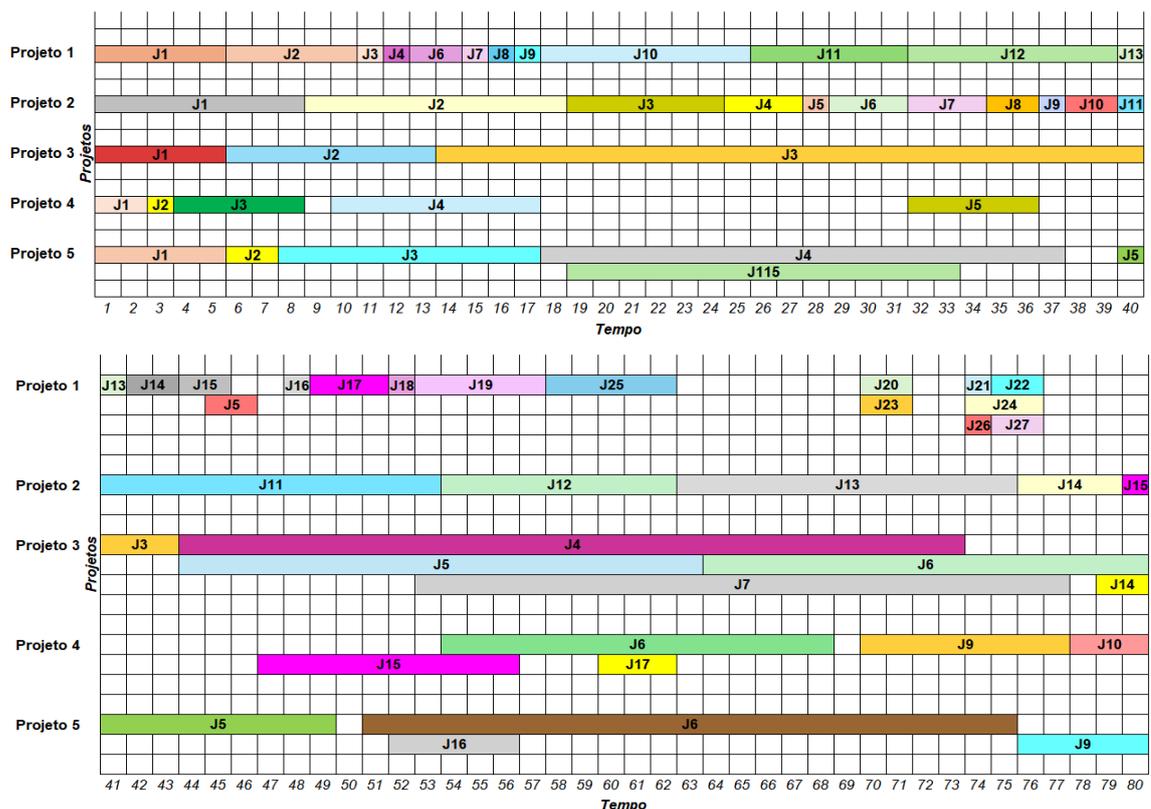
Tabela 12 - Alocação de Recursos do Projeto 5

Projeto 5 - Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)										
Tarefa	Início	Término	Duração	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	1	5	5	0	2	0	0	0	0	1
2	6	7	2	2	2	0	0	0	0	0
3	8	17	10	0	0	0	0	0	0	1
4	18	37	20	3	8	0	0	3	2	0
5	40	49	10	3	8	0	0	3	2	0
6	51	75	25	3	8	0	0	3	2	0
7	120	124	5	2	3	0	0	0	0	0
8	114	123	10	2	3	0	0	0	0	0
9	76	90	15	4	8	0	0	0	0	0
10	119	138	20	3	6	0	0	0	0	0
11	92	93	2	3	6	0	0	0	0	0
12	103	107	5	0	6	3	0	0	0	0
13	113	114	2	0	6	3	0	0	0	0
14	175	184	10	0	2	0	2	0	0	0
15	19	33	15	4	8	0	0	0	0	0
16	52	56	5	4	8	0	0	0	0	0
17	174	176	3	2	3	0	0	0	0	0
18	166	168	3	2	3	0	0	0	0	0
19	136	145	10	2	3	0	0	0	0	0
20	122	123	2	0	2	2	0	0	0	0
21	183	184	2	2	3	0	0	0	0	0
22	124	124	1	0	2	2	0	0	0	0
23	177	178	2	0	6	0	0	0	0	0

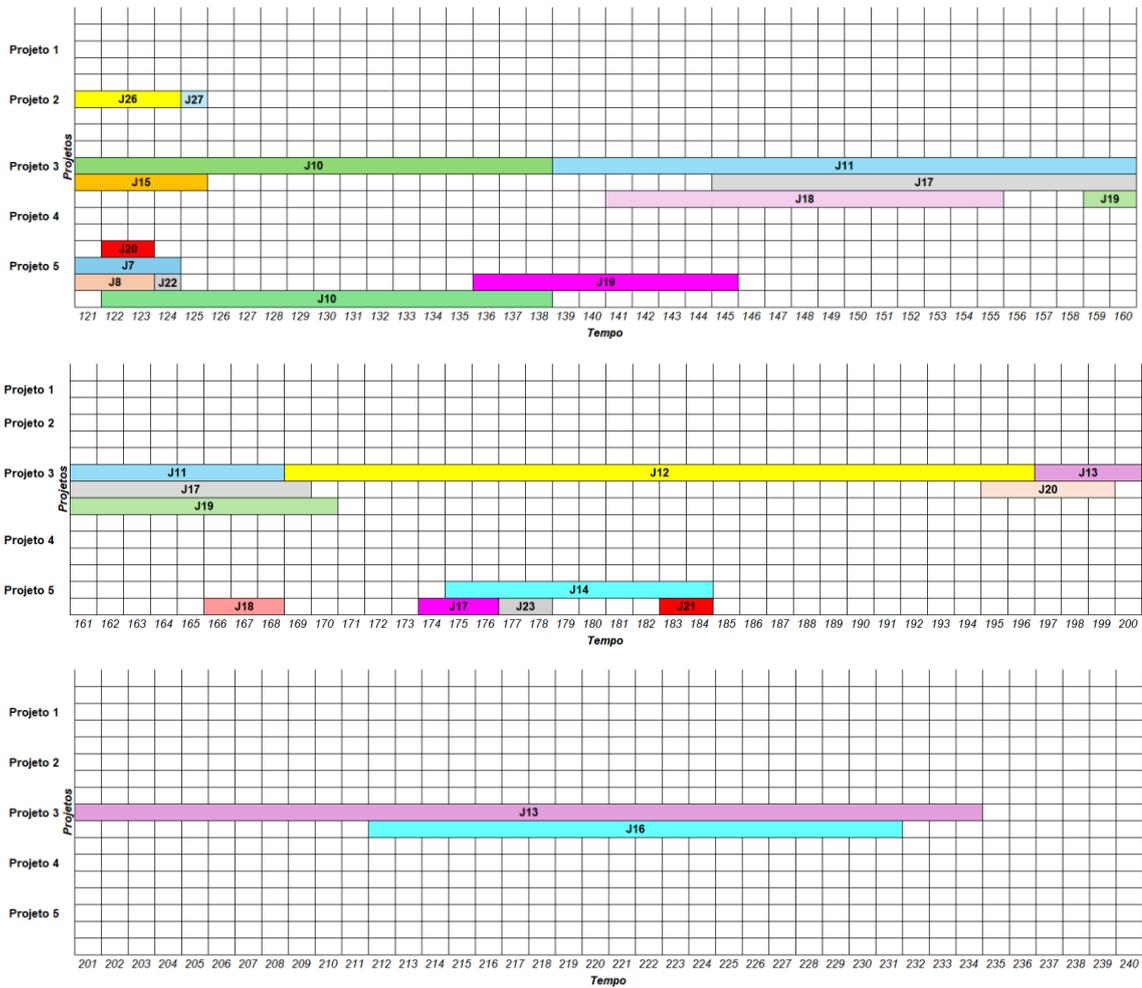
Fonte: Autor (2025)

Como mencionado, as tabelas anteriores apresentam os resultados do sequenciamento no modelo RCMPSP, destacando a organização das atividades com base nas restrições de recursos e na precedência entre tarefas. Esse sequenciamento é fundamental para a eficiência do projeto, garantindo o cumprimento de prazos e a otimização dos recursos. Para complementar a análise e proporcionar maior clareza nos resultados, a Figura apresenta o detalhamento do sequenciamento para um período de processamento de 3 horas. No eixo x , está representado o tempo em dias, enquanto no eixo y são exibidas as variações entre os projetos. Na Figura 14, estão descritas as tarefas, indicando o momento de início de cada uma e suas respectivas durações, permitindo uma visualização detalhada do cronograma e das alocações realizadas. Na Figura 14, são apresentadas as tarefas com seus respectivos momentos de início e durações, proporcionando uma visualização detalhada do cronograma e das alocações realizadas. A distribuição dos tempos das tarefas varia de 1 a 240 dias, conforme indicado na parte inferior de cada representação. Devido à grande quantidade de tarefas por projeto, foi necessário segmentar o sequenciamento para garantir a clareza na distribuição de todas as atividades.

Figura 14 - Resultado do sequenciamento de RCMPSP do estudo de caso



Continuação na próxima página



Fonte: Autor (2024)

A figura 14 exibe o sequenciamento de tarefas (J1, J2, ..., Jn) em cinco projetos diferentes ao longo do tempo. O eixo x indica o tempo, organizado em dias, e o eixo y organiza os projetos em níveis. As barras coloridas correspondem às tarefas, mostrando o período em que cada uma é iniciada e sua respectiva duração. Essa visualização facilita a análise do cronograma e da alocação dos recursos entre os projetos.

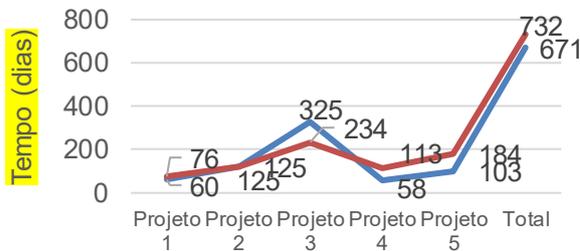
Serão apresentados abaixo os resultados obtidos para os processamentos com tempo limite de processamento do solver de 6h, 12h e 24h, incluindo uma análise comparativa do *makespan* e dos custos em relação à situação inicial. O objetivo é avaliar o impacto de diferentes tempos de processamento na eficiência do sequenciamento, bem como identificar oportunidades de redução de custos e melhoria na alocação de recursos.

4.3.4 Análise comparativa dos *makespans*

Neste tópico, será apresentada a análise comparativa do *makespan*, destacando as diferenças entre o cronograma inicial e o obtido por meio do modelo implementado. Serão discutidos os impactos da alocação eficiente de recursos na redução do tempo total de execução dos projetos, evidenciando os benefícios da abordagem proposta em relação às práticas convencionais.

Na situação inicial, o cronograma elaborado pela equipe técnica da empresa, utilizando o *software* comercial *Microsoft Project*®, resultou em um *makespan* total de 671 dias, representando o tempo necessário para a execução completa dos 5 projetos sem ajustes adicionais. Após resolução do modelo considerando diferentes tempos limites para execução do solver, os seguintes resultados foram obtidos, conforme os Gráficos 4 a 7 detalham:

Gráfico 5 – Comparativo dos *makespans* para 3 horas de processamento computacional

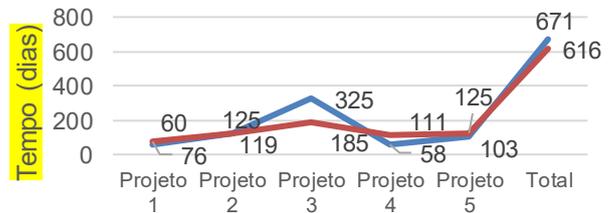


Makespan Inicial

Makespan Modelo

Fonte: Autor (2025)

Gráfico 4 - Comparativo dos *makespans* para 6 horas de processamento computacional

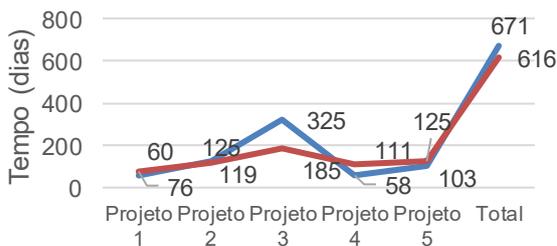


Makespan Inicial

Makespan Modelo

Fonte: Autor (2025)

Gráfico 7 - Comparativo dos *makespans* para 12 horas de processamento computacional

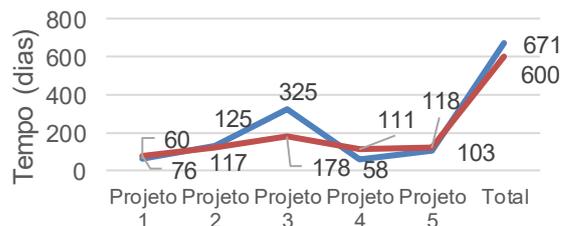


Makespan Inicial

Makespan Modelo

Fonte: Autor (2025)

Gráfico 6 - Comparativo dos *makespans* para 24 horas de processamento computacional



Makespan Inicial

Makespan Modelo

Fonte: Autor (2025)

- I. Conforme Gráfico 4 apresenta, para a análise com 3 horas de processamento, o *makespan* resultou em 732 dias, um aumento de 61 dias, indicando que o tempo de processamento insuficiente comprometeu a solução otimizada.
- II. Nas análises com 6 e 12 horas de processamento, o *makespan* foi reduzido em 55 dias, mostrando que tempos intermediários de processamento computacional são eficazes para melhorar a eficiência do cronograma, conforme os Gráficos 5 e 6 apresentam.
- III. Na análise com 24 horas de processamento computacional, o *makespan* foi ainda mais reduzido 71 dias, evidenciando que tempos maiores permitem ajustes mais refinados e eficientes.

Esses resultados demonstram como o tempo de processamento computacional influencia diretamente na qualidade da solução de sequenciamento. O modelo apresentou um resultado satisfatório para os tempos de processamento computacional de 6, 12 e 24 horas.

4.3.5 Análise comparativa de custos associados aos *makespans*

O estudo desenvolvido por Sánchez *et al.*, (2023), cuja formulação matemática serviu de base para esta pesquisa, foca na minimização do *makespan*. No entanto, para ampliar a análise dos resultados, este trabalho também considera a comparação dos custos associados a diferentes durações de projeto. Essa abordagem permite avaliar não apenas a eficiência temporal, mas também o impacto financeiro das soluções propostas, proporcionando uma visão mais abrangente e alinhada à realidade da empresa do estudo de caso. As Tabelas 13 a 15 apresentam o comparativo de custos para os resultados obtidos pelo modelo.

Tabela 9 - Comparação de custos - Situação Inicial x tempo de processamento de 3 horas

Função	Valor Diária	Quant. Inicial	Quant. Otimizada	Custo Inicial	Custo Obtido pelo Modelo	Desvio
Pedreiro	R\$ 240,00	3097	3379	R\$ 743.280,00	R\$ 810.960,00	-R\$ 67.680,00
Servente	R\$ 95,00	6403	6986	R\$ 608.285,00	R\$ 663.670,00	-R\$ 55.385,00
Encanador	R\$ 240,00	190	208	R\$ 45.600,00	R\$ 49.920,00	-R\$ 4.320,00
Eletricista	R\$ 240,00	158	173	R\$ 37.920,00	R\$ 41.520,00	-R\$ 3.600,00
Armador de ferragem	R\$ 240,00	402	439	R\$ 96.480,00	R\$ 105.360,00	-R\$ 8.880,00
Carpinteiro	R\$ 240,00	374	408	R\$ 89.760,00	R\$ 97.920,00	-R\$ 8.160,00
Retroescavadeira	R\$ 1.200,00	188	205	R\$ 225.600,00	R\$ 246.000,00	-R\$ 20.400,00
				R\$ 1.846.925,00	R\$ 2.015.350,00	-R\$ 168.425,00

Fonte: O autor (2025)

Para a primeira análise, com um tempo de processamento computacional de 3 horas, observou-se um aumento no *makespan*, o que resultou na necessidade de mais dias-homens para a conclusão do projeto. Conseqüentemente, o custo de mão de obra também aumentou, gerando um desvio negativo de R\$ 168.425,00. Dessa forma, conclui-se que, com o tempo limite de processamento de 3 horas e as instâncias utilizadas, o sequenciamento obtido não é atrativo. A Tabela 14 apresentará os resultados obtidos com tempo limite de processamento de 6 e 12 horas, eles foram apresentados em uma única tabela por apresentar o mesmo resultado.

Tabela 10 - Comparação de custos - Situação Inicial x Comparativa do tempo de otimização de 6 e 12 horas.

Função	Valor Diária	Quant. Inicial	Quant. Otimizada	Custo Inicial	Custo Obtido pelo Modelo	Desvio
Pedreiro	R\$ 240,00	3097	2834	R\$ 743.280,00	R\$ 680.160,00	R\$ 63.120,00
Servente	R\$ 95,00	6403	5859	R\$ 608.285,00	R\$ 556.605,00	R\$ 51.680,00
Encanador	R\$ 240,00	190	174	R\$ 45.600,00	R\$ 41.760,00	R\$ 3.840,00
Eletricista	R\$ 240,00	158	145	R\$ 37.920,00	R\$ 4.800,00	R\$ 3.120,00
Armador de ferragem	R\$ 240,00	402	368	R\$ 96.480,00	R\$ 88.320,00	R\$ 8.160,00
Carpinteiro	R\$ 240,00	374	343	R\$ 89.760,00	R\$ 82.320,00	R\$ 7.440,00
Retroescavadeira	R\$ 1.200,00	188	172	R\$ 225.600,00	R\$ 206.400,00	R\$ 19.200,00
				R\$ 1.846.925,00	R\$ 1.690.365,00	R\$ 156.560,00

Fonte: O autor (2025)

Os resultados foram satisfatórios, com um ganho efetivo de R\$ 156.560,00. Apesar de utilizarem as mesmas instâncias do sequenciamento de 3 horas, os resultados foram significativamente melhores, evidenciando que o desempenho da

alocação de recursos tende a melhorar com o aumento do tempo limite para execução do solver. Na Tabela 15 é reportado os dados da solução obtidos com o tempo de processamento de 24 horas.

Tabela 11 - Comparação de custos - Situação Inicial x Comparativa do tempo de otimização de **24 horas**

Função	Valor Diária	Quant. Inicial	Quant. Otimizada	Custo Inicial	Custo Obtido pelo Modelo	Desvio
Pedreiro	R\$ 240,00	3097	2769	R\$ 743.280,00	R\$ 664.560,00	R\$ 78.720,00
Servente	R\$ 95,00	6403	5725	R\$ 608.285,00	R\$ 543.875,00	R\$ 64.410,00
Encanador	R\$ 240,00	190	170	R\$ 45.600,00	R\$ 40.800,00	R\$ 4.800,00
Eletricista	R\$ 240,00	158	142	R\$ 37.920,00	R\$ 34.080,00	R\$ 3.840,00
Armador de ferragem	R\$ 240,00	402	360	R\$ 96.480,00	R\$ 86.400,00	R\$ 10.080,00
Carpinteiro	R\$ 240,00	374	335	R\$ 89.760,00	R\$ 80.400,00	R\$ 9.360,00
Retroescavadeira	R\$ 1.200,00	188	168	R\$ 225.600,00	R\$ 201.600,00	R\$ 24.000,00
				R\$ 1.846.925,00	R\$ 1.651.715,00	R\$ 195.210,00

Fonte: O autor (2025)

Na última análise, utilizando as mesmas instâncias, foi alcançado um ganho efetivo de R\$ 195.210,00 com um tempo de processamento de 24 horas. Esse resultado reflete uma otimização significativa no uso dos recursos, demonstrando que ajustes estratégicos no sequenciamento e na alocação de mão de obra e equipamentos podem gerar economias expressivas. A análise confirma que o aumento no tempo de processamento, aliado a uma distribuição eficiente dos recursos, tende a melhorar o desempenho geral do projeto, reduzindo custos e aumentando a viabilidade operacional. Isso reforça a importância de práticas otimizadas para alcançar resultados econômicos mais favoráveis.

4.3.6 Análise de Redução de Recursos

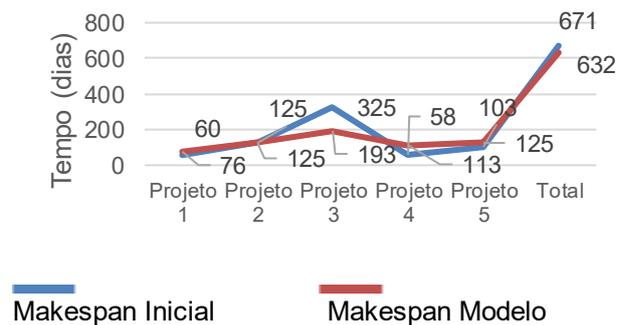
Com o objetivo de explorar outras variações do modelo, foi proposta a redução na quantidade de recursos associados ao processamento anterior, visando analisar o impacto dessa alteração no comportamento do sequenciamento. A Tabela 16 apresenta a nova projeção para a alocação de recursos e o Gráfico 8 demonstra o resultado dessa nova projeção.

Tabela 12 - Projeção da redução de recursos

ID	Recurso	Quant. Disponível	Quant. Inicial	Quant. Reduzida
R1	Pedreiro		60	50
R2	Servente		50	40
R3	Encanador		8	6
R4	Eletricista		8	6
R5	Armador de ferragem		8	6
R6	Carpinteiro		8	6
R7	Retroscavadeira		10	8

Fonte: O autor (2025)

Gráfico 8 - Redução de recursos – Tempo 24 horas



Fonte: O autor (2025)

Com a redução na quantidade de recursos, o Gráfico 8 apresentou uma redução de 38 dias no *makespan* para um tempo de processamento de 24 horas. Esse desempenho evidencia que, mesmo sob condições mais restritivas, o modelo manteve sua viabilidade operacional, demonstrando alta eficiência e adaptabilidade. A tabela 17 apresenta o desempenho financeiro dessa análise.

Tabela 13 - Comparação de Custos - Situação Inicial x Comparativa de redução de recursos com tempo de otimização de 24 horas.

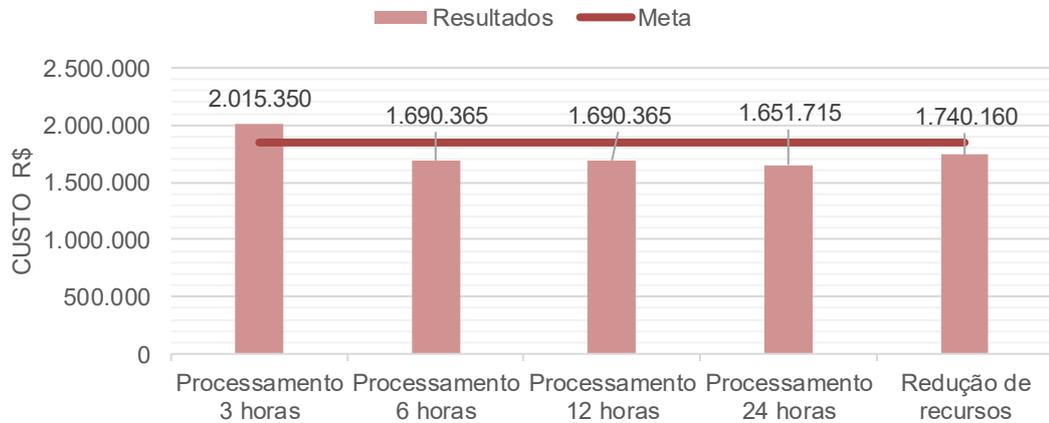
Função	Valor Diária	Quant. Inicial	Quant. Otimizada	Custo Inicial	Custo Otimizado	Desvio
Pedreiro	R\$ 240,00	3097	2918	R\$ 743.280,00	R\$ 700.320,00	R\$ 42.960,00
Servente	R\$ 95,00	6403	6032	R\$ 608.285,00	R\$ 573.040,00	R\$ 35.245,00
Encanador	R\$ 240,00	190	179	R\$ 45.600,00	R\$ 42.960,00	R\$ 2.640,00
Eletricista	R\$ 240,00	158	149	R\$ 37.920,00	R\$ 35.760,00	R\$ 2.160,00
Armador de ferragem	R\$ 240,00	402	379	R\$ 96.480,00	R\$ 90.960,00	R\$ 5.520,00
Carpinteiro	R\$ 240,00	374	353	R\$ 89.760,00	R\$ 84.720,00	R\$ 5.040,00
Retroscavadeira	R\$ 1.200,00	188	177	R\$ 225.600,00	R\$ 212.400,00	R\$ 13.200,00
				R\$ 1.846.925,00	R\$ 1.740.160,00	R\$ 106.765,00

Fonte: O autor (2025)

O resultado apontou um ganho financeiro de R\$ 106.765,00, reforçando o potencial do modelo para otimizar os custos, mesmo diante de limitações nos recursos disponíveis.

O Gráfico 9 resume a variação nos custos dos sequenciamentos em cada processamento, evidenciando a eficiência destacada nas categorias de 6, 12 e 24 horas.

Gráfico 9 - Representação geral das análises



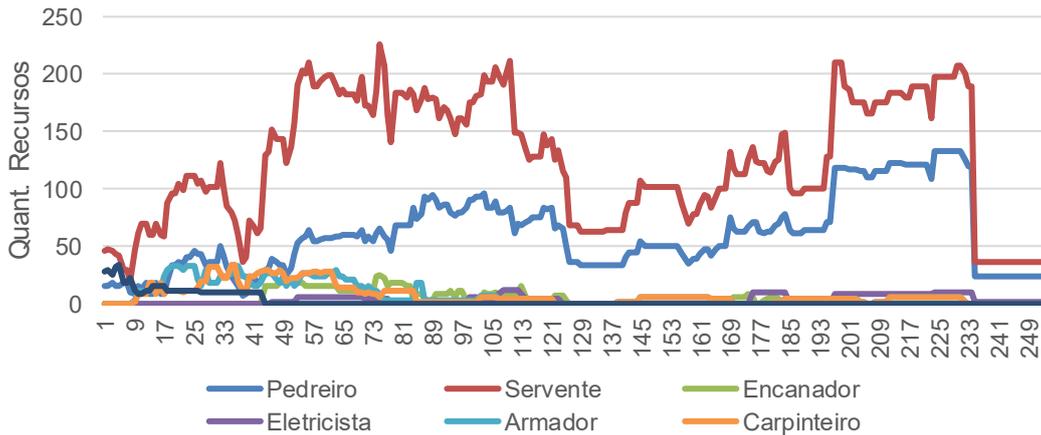
Fonte: O autor (2025)

Em conclusão, os dados apresentados revelam importantes *insights* sobre a variação nos custos dos sequenciamentos, destacando uma gestão mais eficiente dos recursos em determinadas situações. Essa análise demonstra a relevância de estratégias bem planejadas para otimização dos processos, evidenciando como ajustes no tempo de processamento podem impactar diretamente na redução de custos e na melhoria da eficiência operacional. Assim, os resultados obtidos reforçam a importância da análise contínua e da adaptação das práticas para alcançar melhores desempenhos no futuro.

4.3.7 Análise de alocação de recursos

A alocação de recursos é um aspecto muito importante para o sucesso do cronograma e a eficiência operacional. O gráfico 10 ilustra essa dinâmica, detalhando a utilização dos recursos em todos os projetos por intervalos de tempo, de acordo com os resultados obtidos através do modelo.

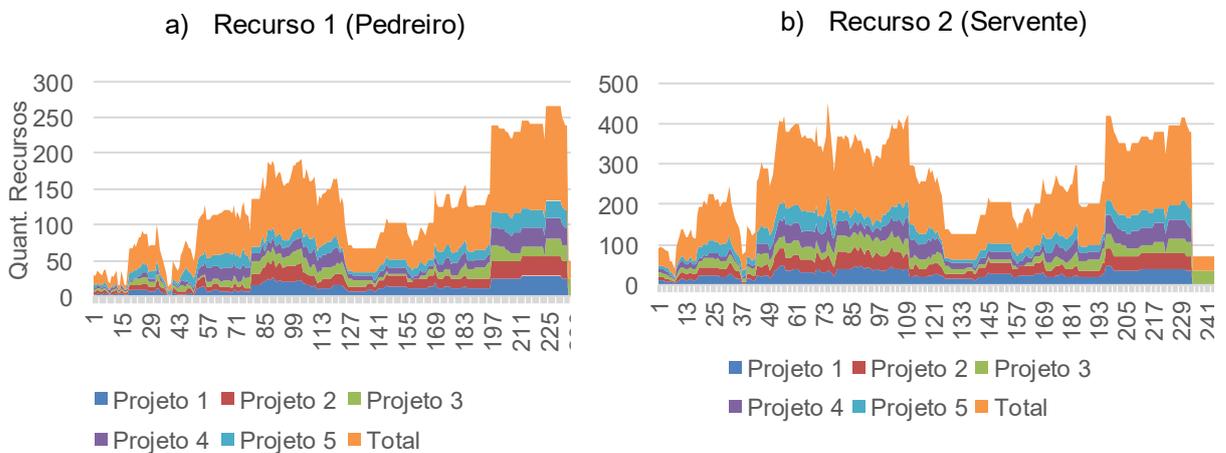
Gráfico 10 - Resumo de utilização de recursos por intervalo de tempo



Fonte: O autor (2025)

Com base nos resultados obtidos da alocação de recursos, observa-se uma significativa variação na demanda entre eles. Os serventes destacam-se como os mais requisitados, com um total de 32.015 alocações, seguidos pelos pedreiros (15.485), armadores (2.010), eletricitas (1.870), carpinteiros (950), encanadores (790) e, por último, a retroescavadeira (590). Um ponto de destaque é o intervalo entre os períodos 49 e 81, que concentra o maior consumo de recursos. Este intervalo exige atenção especial, pois representa a fase mais crítica e onerosa na distribuição de recursos. O Gráfico 11, apresentado a seguir, ilustra detalhadamente a alocação dos recursos 1 e 2 em cada projeto, possibilitando uma análise mais aprofundada sobre sua distribuição.

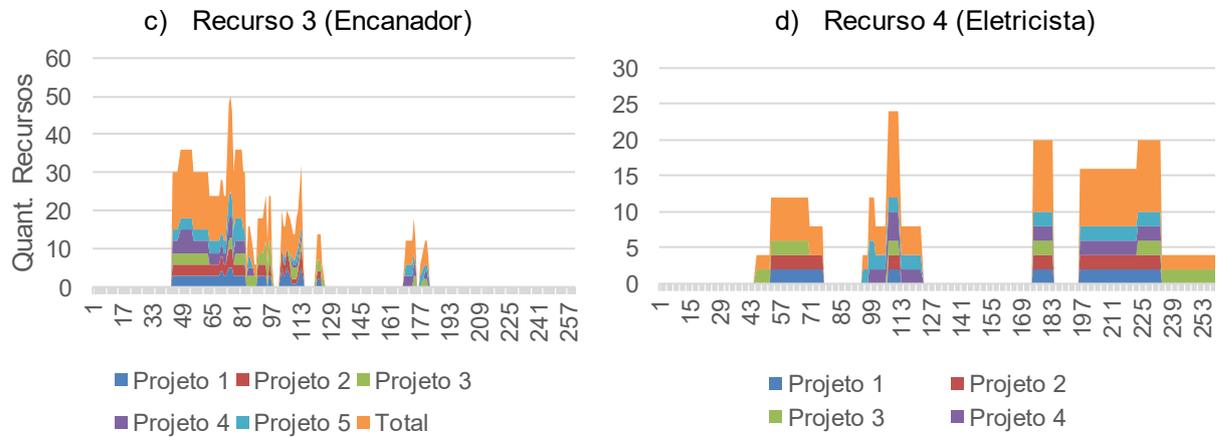
Gráfico 11 – Sequenciamento Recursos 1 e 2



Fonte: O autor (2025)

É evidente a representatividade dos recursos 1 e 2 nos projetos, destacando-se pela sua ampla distribuição ao longo de todo o intervalo analisado. O Gráfico 12 apresenta a distribuição dos Recursos 3 e 4.

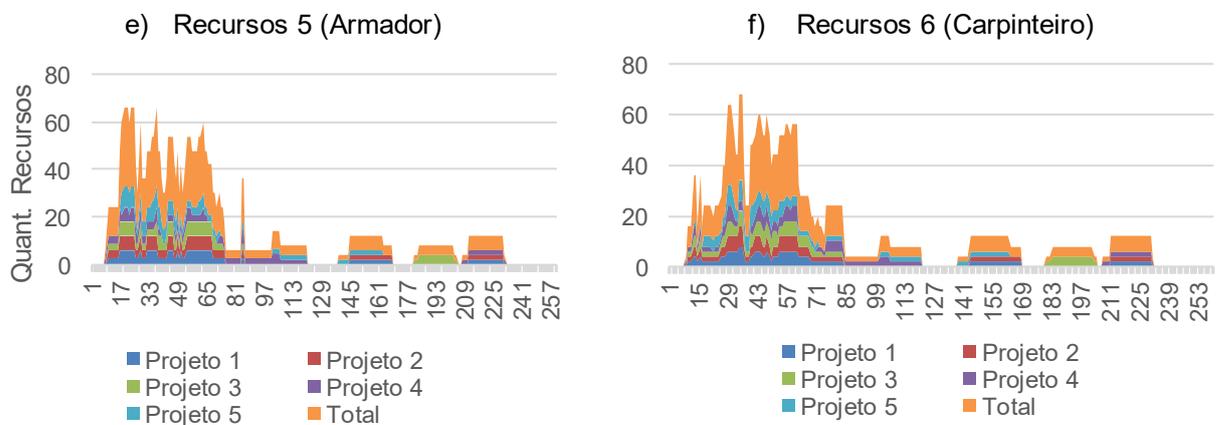
Gráfico 12 - Sequenciamento Recursos 3 e 4



Fonte: O autor (2025)

Os recursos 5, 6 e 7 (sendo o 7 apresentado no Gráfico 14) foram os menos representativos no sequenciamento, apresentando uma utilização limitada e não contínua ao longo do intervalo. Os gráficos evidenciam lacunas (*gaps*) na necessidade desses recursos, refletindo sua menor relevância em determinadas etapas do projeto. Dando sequência, o Gráfico 13 apresenta a distribuição dos recursos 5 e 6.

Gráfico 13 - Sequenciamento Recursos 5 e 6



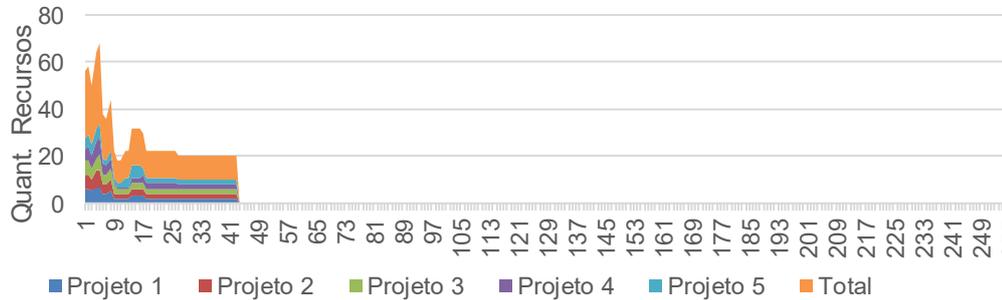
Fonte: O autor (2025)

Os recursos 5 e 6 mostram-se mais representativos no sequenciamento, com sua maior amplitude de consumo concentrada na fase inicial dos projetos, indicando

uma demanda significativa nessa etapa específica. Por fim, o Gráfico 14 apresenta o sequenciamento do Recurso 7.

Gráfico 14 – Utilização do Recurso 7

g) Recursos 7 (Retroescavadeira)



Fonte: O autor (2025)

Conforme mencionado anteriormente, o recurso 7 é o menos utilizado nos projetos, apresentando uma representatividade bastante limitada ao longo do sequenciamento. Sua demanda concentra-se exclusivamente na fase inicial, mais especificamente no intervalo de 1 a 43, refletindo sua relevância apenas em atividades específicas dessa etapa.

A análise de alocação de recursos evidencia a diversidade de demandas entre as diferentes categorias, destacando a importância de uma visualização clara e estratégica dessa distribuição ao longo das fases do projeto. Recursos como os de categorias 1 e 2 apresentam maior representatividade e ampla utilização em todas as etapas, enquanto outros, como os de categorias 5 e 6, concentram-se nas fases iniciais. Já os recursos das categorias 3, 4 e 7 demonstram menor relevância, sendo empregados de forma pontual e com períodos de baixa ou nenhuma demanda.

Essas variações ressaltam a necessidade de um planejamento detalhado e estratégico para a alocação de recursos, ajustando-os conforme as demandas específicas de cada etapa do projeto. A visualização clara do sequenciamento permite identificar momentos críticos, como períodos de maior consumo, e direcionar ações para otimizar a execução, reduzir custos e garantir o cumprimento dos prazos. Assim, essa abordagem se torna um elemento essencial para o sucesso dos projetos analisados.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O estudo de caso apresentado demonstrou os desafios enfrentados por uma empresa de construção civil na alocação eficiente de mão de obra em múltiplos projetos simultâneos. A análise revelou que a distribuição manual das equipes, baseada na experiência dos gestores, resulta em atrasos, ociosidade e sobrecarga de trabalho, impactando diretamente os prazos e os custos operacionais. Diante desse cenário, a adoção de abordagens mais sistemáticas torna-se essencial para aprimorar a gestão dos recursos disponíveis.

Nesse contexto, a comparação entre os cronogramas gerados pelo *Microsoft Project*® e pelo modelo aplicado evidenciou as limitações das ferramentas comerciais na gestão de restrições de recursos, de modo que o modelo obtido pelo uso da programação matemática apresentou um melhor resultado para a alocação de recursos. O modelo de Sánchez *et al.*, (2023) permitiu a minimização do *makespan* e a maximização da produtividade das equipes, oferecendo um planejamento mais equilibrado e alinhado às necessidades da empresa. Além disso, outra questão relevante identificada foi a influência do tempo de processamento na eficiência da solução. Os resultados indicaram que tempos muito curtos comprometem a qualidade da otimização, enquanto tempos mais longos proporcionam soluções mais refinadas, reduzindo significativamente o *makespan*.

A esse respeito, a análise comparativa de custos reforçou essa tendência, evidenciando ganhos financeiros expressivos quando um tempo de processamento adequado é empregado. Paralelamente, a análise da alocação de recursos mostrou uma variação significativa na demanda entre as diferentes categorias. Recursos como serventes e pedreiros apresentaram maior representatividade ao longo dos projetos, enquanto outros, como armadores e eletricitas, tiveram utilização pontual. Essa dinâmica ressalta a necessidade de um planejamento detalhado para evitar gargalos e otimizar o uso dos recursos disponíveis.

Por fim, os resultados obtidos confirmam a relevância da utilização de abordagens sistemáticas e algoritmos de otimização na gestão de projetos. A implementação de métodos baseados no RCMPSP possibilita uma gestão mais eficiente, contribuindo para a redução de custos, o cumprimento de prazos e a melhoria da produtividade. Dessa maneira, este estudo reforça a importância de uma análise criteriosa na tomada de decisão e na busca por soluções inovadoras para a gestão de múltiplos projetos no setor da construção civil.

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo, apresentam-se as considerações finais sobre o estudo realizado, enfatizando os resultados obtidos e sua relevância para a alocação de recursos em múltiplos projetos na construção civil. Inicialmente, verifica-se se os objetivos estabelecidos foram alcançados e, posteriormente, discute-se o impacto das técnicas aplicadas, destacando seus benefícios e limitações.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo geral analisar e propor um modelo adequado para o sequenciamento de múltiplos projetos com restrição de recursos no setor da construção civil. Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que esse objetivo foi alcançado com sucesso. O modelo desenvolvido demonstrou ser eficiente na alocação de recursos, permitindo reduzir custos e otimizar o tempo de execução dos projetos.

No que se refere aos objetivos específicos, a análise da literatura permitiu identificar diferentes abordagens para a alocação de recursos, bem como os principais desafios enfrentados, tais como a alta complexidade computacional e a dinamicidade dos cenários de construção. Foram identificadas variáveis críticas que influenciam diretamente a eficiência da alocação de recursos, incluindo o tempo de processamento, a disponibilidade de mão de obra e materiais, e as restrições de cronograma impostas pelos projetos simultâneos.

A implementação do modelo matemático considerou essas variáveis, permitindo um melhor resultado da distribuição dos recursos ao longo do tempo e minimizar impactos negativos na execução dos projetos. As simulações realizadas utilizando dados reais demonstraram a robustez do modelo, evidenciando sua capacidade de ajuste e adaptação a diferentes cenários, contribuindo para a tomada de decisão estratégica no planejamento de obras.

Os resultados obtidos mostraram que a aplicação de técnicas de sequenciamento de atividades impacta significativamente o tempo de execução e os custos operacionais. Durante a análise, verificou-se que o tempo de processamento tem papel fundamental na eficiência do modelo. A escolha inicial de 3 horas de processamento resultou em um aumento no *makespan* (tempo total de execução), chegando a 732 dias, comprometendo a viabilidade do projeto. Por outro lado, tempos de processamento mais longos, como 6, 12 e 24 horas, demonstraram avanços

consideráveis na eficiência do cronograma, reduzindo o *makespan* para 616 dias e, posteriormente, para 600 dias. Esse ajuste permitiu otimizar o uso de recursos e melhorar a execução das tarefas.

A comparação de custos entre diferentes opções de processamento destacou uma relação direta entre o aumento do tempo de processamento e a redução dos custos totais, com um ganho de R\$ 195.210,00 na análise de 24 horas. Além disso, a redução da quantidade de recursos disponíveis manteve a viabilidade do projeto, reduzindo o *makespan* para 632 dias e gerando um ganho adicional de R\$ 106.765,00. Esses resultados reforçam a adaptabilidade e a eficiência do modelo, mesmo em cenários mais restritivos.

Ao longo da análise, a visualização da alocação de recursos demonstrou-se fundamental para compreender a dinâmica de alocação entre diferentes categorias e identificar períodos críticos de maior consumo. Essa abordagem permitiu ajustes estratégicos, otimizando a execução e reduzindo custos operacionais. Além disso, a identificação de variações na demanda entre recursos e a distribuição ao longo das fases do projeto destacou a importância de um planejamento detalhado, evidenciando como a visualização clara do sequenciamento pode auxiliar na tomada de decisões e no equilíbrio entre prazos, custos e viabilidade.

A capacidade do modelo de ajustar alocações de maneira eficiente, minimizando os impactos da restrição de recursos, comprova sua robustez. Em cenários reais, onde variações na disponibilidade de recursos são comuns, essa adaptabilidade é essencial para garantir o sucesso do planejamento e execução de projetos. Assim, o modelo consolidou-se como uma ferramenta estratégica, permitindo resultados eficazes mesmo em condições adversas.

Essa dissertação oferece contribuições significativas nos aspectos sociais, econômicos e ambientais:

Aspectos Sociais: A otimização no sequenciamento de projetos, considerando as restrições de recursos, pode impactar positivamente a alocação de mão de obra, garantindo melhores condições de trabalho e redução de sobrecarga nos recursos humanos. Com o planejamento mais eficiente, as equipes de trabalho conseguem operar de maneira mais estruturada, com prazos cumpridos, evitando o estresse e a sobrecarga, além de possibilitar um ambiente de trabalho mais equilibrado.

Aspectos Econômicos: A principal contribuição econômica está na redução de custos associados à alocação e utilização de recursos. Ao otimizar a alocação de mão de obra, equipamentos e outros recursos, o modelo proposto pode gerar ganhos financeiros significativos, como demonstrado nos resultados da dissertação. A redução do *makespan* e a minimização de desperdícios financeiros são essenciais para melhorar a rentabilidade dos projetos, maximizando o retorno sobre os investimentos e melhorando a competitividade no mercado.

Aspectos Ambientais: Embora o foco principal seja a otimização de recursos e custos, a eficiência na alocação de recursos também pode ter implicações ambientais positivas. Ao reduzir a quantidade de recursos consumidos e otimizar o uso de equipamentos e materiais, há um impacto indireto na redução do consumo de energia e no uso mais sustentável dos recursos naturais. Além disso, a gestão eficiente dos projetos pode minimizar os impactos ambientais, como o desperdício de materiais e o aumento da pegada de carbono associada a projetos mal planejados.

5.2 LIMITAÇÕES E DIFICULDADES

Embora os resultados obtidos forneçam contribuições reais para o campo do agendamento de projetos com restrições de recursos, algumas limitações foram encontradas durante a pesquisa. O modelo analisado depende de parâmetros específicos, como o tempo de processamento e a capacidade dos recursos, definidos a partir de um estudo de caso particular, o que pode dificultar a generalização dos resultados para outros cenários.

O modelo também simplifica a alocação de recursos, não considerando variações como disponibilidade em horários diferentes ou a necessidade de recursos especializados. Apesar de ter mostrado boa adaptabilidade com redução de recursos, cenários excessivamente restritivos podem afetar a flexibilidade do modelo.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Embora os resultados apresentados evidenciem avanços significativos, o modelo utilizado ainda depende de parâmetros específicos, como o tempo de processamento e as capacidades de recursos, que podem variar conforme o contexto. Futuros estudos poderiam explorar outras variáveis, como a introdução de diferentes tipos de restrições (por exemplo, disponibilidade limitada de recursos e variações nos custos ao longo do tempo), para testar a robustez do modelo em cenários mais

complexos. Outra linha de investigação interessante seria o desenvolvimento de um aplicativo intuitivo para facilitar a utilização pela equipe técnica responsável pelo planejamento, o que agilizaria a adaptação do modelo.

Além disso, seria relevante avaliar a aplicação de técnicas de inteligência artificial e aprendizado de máquina, como algoritmos de otimização heurística e meta-heurística, aprendizado por reforço e modelos preditivos, visando aprimorar a alocação de recursos e o sequenciamento de tarefas no RCMPSP. Essas abordagens permitiriam a análise de grandes volumes de dados históricos para prever demandas, identificar gargalos e ajustar dinamicamente o cronograma dos projetos. Com isso, seria possível refinar ainda mais o processo de otimização, tornando as soluções mais dinâmicas e adaptáveis às mudanças nas condições dos projetos.

Outra possível melhoria envolve a inclusão de restrições relacionadas à incerteza, como variações na duração das tarefas ou na disponibilidade dos recursos, o que poderia ser tratado por meio de programação estocástica ou simulação de cenários. Além disso, a modelagem poderia incorporar custos associados ao uso dos recursos e atrasos na conclusão dos projetos, permitindo uma análise mais detalhada do impacto financeiro das decisões tomadas.

Outras condições que poderiam ser incluídas no modelo envolvem a priorização de projetos, garantindo que tarefas críticas recebam maior alocação de recursos em situações de escassez, e a inclusão de múltiplos tipos de restrições logísticas, como a necessidade de intervalos obrigatórios entre determinadas tarefas ou a dependência de fatores externos, como condições climáticas ou disponibilidade de equipamentos específicos.

Em síntese, a pesquisa demonstrou que ajustes finos no sequenciamento das tarefas, combinados com maior tempo de processamento e redução de recursos, podem resultar em melhorias substanciais no desempenho dos projetos, gerando ganhos financeiros significativos e otimizando a eficiência operacional.

REFERÊNCIAS

- ABDOLSHAH, M. A Review of Resource-Constrained Project Scheduling Problems (RCPSP) Approaches and Solutions. *In:* , 2014. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:61860851>.
- AFSHAR-NADJAFI, B. A solution procedure for preemptive multi-mode project scheduling problem with mode changeability to resumption. **Applied Computing and Informatics**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 192–201, 2018.
- AKHBARI, M. Integration of Multi-mode Resource-Constrained Project Scheduling under bonus-penalty policies with Material Ordering under Quantity Discount scheme for minimizing project cost. **Scientia Iranica**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 0–0, 2020.
- AL RASHID, A. *et al.* Additive manufacturing: Technology, applications, markets, and opportunities for the built environment. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 118, p. 103268, 2020.
- ALENCAR, L. H.; SANTANA, M. O. Análise do Gerenciamento de Múltiplos Projetos na Construção Civil. **Revista de Gestão e Projetos**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 74–92, 2010.
- ALIPOURI, Y. A resource flow-based branch-and-bound algorithm to solve fuzzy stochastic resource-constrained project scheduling problem. **Soft Computing**, [s. l.], v. 25, n. 22, p. 14315–14331, 2021.
- ALMEIDA, H. R.; RAMOS FILHO, A. D. C. Conceitos da gestão de mudanças organizacionais aplicados à efetividade do gerenciamento de projetos: um estudo com gerentes seniores. **Revista de Gestão e Projetos**, [s. l.], v. 10, n. 2, 2019. Disponível em: [https://periodicos.uninove.br/index.php?journal=gep&page=article&op=view&path\[\]=1622](https://periodicos.uninove.br/index.php?journal=gep&page=article&op=view&path[]=1622). Acesso em: 24 maio 2025.
- AL-REFAIE, A. *et al.* BLOCKCHAIN OF OPTIMAL MULTIPLE CONSTRUCTION PROJECTS PLANNING UNDER PROBABILISTIC ARRIVAL AND STOCHASTIC DURATIONS. **JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 15–34, 2023.
- ALSHAREF, A. *et al.* Biggest Challenges Facing the Construction Industry. *In:* , 2024. **Construction Research Congress 2024**. [S. l.]: American Society of Civil Engineers, 2024. p. 652–660.
- ALTUWAIM, A.; EL-RAYES, K. Minimizing duration and crew work interruptions of repetitive construction projects. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 88, p. 59–72, 2018.
- ALVAREZ-CAMPANA, P. *et al.* Simulation-Based Approach for Multiproject Scheduling Based on Composite Priority Rules. **International Journal of Simulation Modelling**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 29–40, 2024.
- AMARAL, É. P. *et al.* Uso da análise bibliométrica nos anais do ENEGEP de 2008 a 2016. **Exacta**, [s. l.], v. 17, n. 4, p. 273–282, 2019.

- ANKE, S.; RINGEISEN, T. Kompetenzanforderungen an Führungskräfte von agilen Softwareentwicklungsteams. **Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO)**, [s. l.], v. 52, n. 1, p. 51–63, 2021.
- ARROTÉIA, A. V.; AMARAL, T. G.; MELHADO, S. B. Gestão de projetos e sua interface com o canteiro de obras sob a ótica da Preparação da Execução de Obras. Porto Alegre, 2014. 4, p. 183–200.
- ARTIGUES, C.; ROUBELLAT, F. A polynomial activity insertion algorithm in a multi-resource schedule with cumulative constraints and multiple modes. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 127, n. 2, p. 297–316, 2000.
- ASSUMPÇÃO, J. F. P. **Planejamento de Obras - Conceito e Técnicas**. [S. l.: s. n.], 1990.
- BANICA, L. *et al.* Is DevOps another Project Management Methodology?. **Informatica Economica**, [s. l.], v. 21, n. 3/2017, p. 39–51, 2017.
- BANK, W. The Construction Industry: issues and strategies in developing countries. **The World Bank. Washington, DC**, [s. l.], 2022.
- BARAJEI, C. *et al.* Success factors of pre-construction stages of Ghanaian public road construction project life cycle. **International Journal of Construction Management**, [s. l.], v. 24, n. 13, p. 1444–1453, 2024.
- BEEK, T. V. der *et al.* Hybrid differential evolution algorithm for the resource constrained project scheduling problem with a flexible project structure and consumption and production of resources. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 313, n. 1, p. 92–111, 2024.
- BEN ISSA, S.; PATTERSON, R. A.; TU, Y. Solving resource-constrained multi-project environment under different activity assumptions. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 232, p. 107936, 2021.
- BEŞIKCI, U.; BILGE, Ü.; ULUSOY, G. Multi-mode resource constrained multi-project scheduling and resource portfolio problem. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 240, n. 1, p. 22–31, 2015.
- BETTEMIR, Ö. H.; SONMEZ, R. Hybrid Genetic Algorithm with Simulated Annealing for Resource-Constrained Project Scheduling. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 31, n. 5, p. 04014082, 2015.
- BIANCO, L.; CARAMIA, M.; GIORDANI, S. Resource levelling in project scheduling with generalized precedence relationships and variable execution intensities. **OR Spectrum**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 405–425, 2016.
- BJORVATN, T.; WALD, A. Project complexity and team-level absorptive capacity as drivers of project management performance. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 36, n. 6, p. 876–888, 2018.

- BOUCHLAGHEM, D. (org.). **Collaborative Working in Construction**. 0. ed. [S. l.]: Routledge, 2012. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781136892127>. Acesso em: 25 jan. 2025.
- BOWERS, L.; SIMPSON, A.; ALEXANDER, J. Real world application of an intervention to reduce absconding. **Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing**, [s. l.], v. 12, n. 5, p. 598–602, 2005.
- BRUNI, M. E. *et al.* An adjustable robust optimization model for the resource-constrained project scheduling problem with uncertain activity durations. **Omega**, [s. l.], v. 71, p. 66–84, 2017.
- CALDAS, M. P. Administração da produção. **Revista de Administração Contemporânea**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 223–223, 2003.
- CAVALCANTE, V. F.; CARDONHA, C. H.; HERRMANN, R. G. A Resource Constrained Project Scheduling Problem with Bounded Multitasking. **IFAC Proceedings Volumes**, [s. l.], v. 46, n. 24, p. 433–437, 2013.
- CHAKRABORTTY, R. K.; RAHMAN, H. F.; RYAN, M. J. Efficient priority rules for project scheduling under dynamic environments: A heuristic approach. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 140, p. 106287, 2020.
- CHAKRABORTTY, R. K.; SARKER, R. A.; ESSAM, D. L. Resource constrained project scheduling with uncertain activity durations. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 112, p. 537–550, 2017.
- CHAND, S.; SINGH, H.; RAY, T. Evolving heuristics for the resource constrained project scheduling problem with dynamic resource disruptions. **Swarm and Evolutionary Computation**, [s. l.], v. 44, p. 897–912, 2019.
- CHENG, Y. M. An exploration into cost-influencing factors on construction projects. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 32, n. 5, p. 850–860, 2014.
- CHIN, L. S.; HAMID, A. R. A. The Practice of Time Management on Construction Project. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 125, p. 32–39, 2015.
- CLARK; WHEELWRIGHT. Managing new product and process development: text and cases. [s. l.], 1993.
- CRAWFORD, L.; POLLACK, J. How Generic are Project Management Knowledge and Practice?. **Project Management Journal**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 87–96, 2007.
- CSERHÁTI, G.; SZABÓ, L. The relationship between success criteria and success factors in organisational event projects. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 613–624, 2014.
- DAMOAH, I. S.; KUMI, D. K. Causes of government construction projects failure in an emerging economy. **International Journal of Managing Projects in Business**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 558–582, 2018.

DANDAGE, R. V. *et al.* Analysis of interactions among barriers in project risk management. **Journal of Industrial Engineering International**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 153–169, 2018.

DEMEULEMEESTER, E.; HERROELEN, W. A Branch-and-Bound Procedure for the Multiple Resource-Constrained Project Scheduling Problem. **Management Science**, [s. l.], v. 38, n. 12, p. 1803–1818, 1992.

DEMEULEMEESTER, E.; HERROELEN, W. **Project Scheduling: A Research Handbook**. [S. l.: s. n.], 2002.

DEMIRKESEN ÇAKIR, S.; OZORHON, B. Measuring Project Management Performance: Case of Construction Industry. **Engineering Management Journal; EMJ**, [s. l.], v. 29, p. 258–277, 2017.

DI MURO, P.; TURNER, J. R. Entrepreneurial opportunity pursuit through business model transformation: a project perspective. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 36, n. 7, p. 968–979, 2018.

DING, H.; ZHUANG, C.; LIU, J. Extensions of the resource-constrained project scheduling problem. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 153, p. 104958, 2023.

DOMINGUES, L.; RIBEIRO, P. Project Management Maturity Models: Proposal of a Framework for Models Comparison. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 219, p. 2011–2018, 2023.

DU, Q. *et al.* Dynamics and scenarios of carbon emissions in China's construction industry. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 48, p. 101556, 2019.

DUTRA DE ABREU MANCINI DE AZEVEDO, P. H. *et al.* Strategic Model Canvas: Uma Proposta de Ferramenta para Otimizar o Planejamento Estratégico. **Revista de Gestão e Projetos**, [s. l.], v. 9, n. 3, 2018. Disponível em: [http://periodicos.uninove.br/index.php?journal=gep&page=article&op=view&path\[\]=11262](http://periodicos.uninove.br/index.php?journal=gep&page=article&op=view&path[]=11262). Acesso em: 24 maio 2025.

EL-ABBASY, M. S. *et al.* Artificial neural network models for predicting condition of offshore oil and gas pipelines. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 45, p. 50–65, 2014.

ENSHASSI, A.; KOCHENDOERFER, B.; RIZQ, E. An evaluation of environmental impacts of construction projects. **Revista Ingeniería de Construcción**, [s. l.], v. 29, n. 3, 2014.

FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. Master's Thesis - Universidade de São Paulo, [s. l.], 2002.

FAGEHA, M. K.; AIBINU, A. A. Managing Project Scope Definition to Improve Stakeholders' Participation and Enhance Project Outcome. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 74, p. 154–164, 2013.

FASHINA, A. A. *et al.* Exploring the significant factors that influence delays in construction projects in Hargeisa. **Heliyon**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. e06826, 2021.

- FERNANDES MURITIBA, A. E.; RODRIGUES, C. D.; ARAÚJO DA COSTA, F. A. Path-Relinking algorithm for the multi-mode resource-constrained project scheduling problem. **Computers & Operations Research**, [s. l.], v. 92, p. 145–154, 2018.
- FILHO, J. A. P.; BEZERRA, C. M. da S.; DIAS, A. J. G. Environmental indicators proposal for construction solid waste management plans assessment. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, [s. l.], v. 31, n. 6, p. 1623–1645, 2020.
- FILIPPI, G. A. D.; MELHADO, S. B. Um estudo sobre as causas de atrasos de obras de empreendimentos imobiliários na região Metropolitana de São Paulo. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 161–173, 2015.
- FONSECA, G. L. M. Escritório de projetos em organizações públicas: análise do desempenho e da aderência à estratégia empresarial / Project office in public organizations: analysis of performance and adherence to business strategy. **Brazilian Journal of Business**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 1584–1602, 2021.
- FOUILHOUX, P. *et al.* Branch-and-Cut-and-Price algorithms for the preemptive RCPSP. **RAIRO - Operations Research**, [s. l.], v. 52, n. 2, p. 513–528, 2018.
- FRANCO, J. de A. B. *et al.* Sustainability in the Civil Construction Sector Supported by Industry 4.0 Technologies: Challenges and Opportunities. **Infrastructures**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 43, 2022.
- FREJ, T. A.; ALENCAR, L. H. Fatores de sucesso no gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil em Recife. **Associação Brasileira de Engenharia de Produção**, [s. l.], p. 1–13, 2010.
- FU, F.; ZHOU, H. A combined multi-agent system for distributed multi-project scheduling problems. **Applied Soft Computing**, [s. l.], v. 107, p. 107402, 2021.
- GARCIA, F.; RUSSO, R. Leadership and Performance of the Software Development Team: Influence of the Type of Project Management. **Review of Business Management**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 970–1005, 2019.
- GARCÍA-NIEVES, J. D. *et al.* The Multimode Resource-Constrained Project Scheduling Problem for Repetitive Activities in Construction Projects. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 8, p. 655–671, 2018a.
- GARCÍA-NIEVES, J. D. *et al.* The Multimode Resource-Constrained Project Scheduling Problem for Repetitive Activities in Construction Projects. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 8, p. 655–671, 2018b.
- GAZDER, U.; KHAN, R. A. Effect of Organizational Structures and Types of Construction on Perceptions of Factors Contributing to Project Failure in Pakistan. **Mehran University Research Journal of Engineering and Technology**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 127–138, 2018.
- GEIGER, I. A model of negotiation issue-based tactics in business-to-business sales negotiations. **Industrial Marketing Management**, [s. l.], v. 64, p. 91–106, 2017.

- GHODDOUSI, P.; ANSARI, R.; MAKUI, A. An improved robust buffer allocation method for the project scheduling problem. **Engineering Optimization**, [s. l.], v. 49, n. 4, p. 718–731, 2017.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2019. v. 6
- GOLAB, A. *et al.* A convolutional neural network for the resource-constrained project scheduling problem (RCPSP): A new approach. **Decision Science Letters**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 225–238, 2023.
- GOMES, J.; ROMÃO, M. Maturity, Benefits and Project Management Shaping Project Success. *In*: [S. l.: s. n.], 2015. p. 435–448.
- GOMES, J. V.; ROMÃO, M. B.; BENTO, I. Project Management Maturity. *In*: [S. l.: s. n.], 2024. p. 220–245.
- GONÇALVES, J. F.; DE MAGALHÃES MENDES, J. J.; RESENDE, M. G. C. The Basic Multi-Project Scheduling Problem. *In*: SCHWINDT, C.; ZIMMERMANN, J. (org.). **Handbook on Project Management and Scheduling Vol. 2**. Cham: Springer International Publishing, 2015. p. 667–683. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-05915-0_1. Acesso em: 22 fev. 2025.
- GOUVEIA, F. F.; MONTAVÃO, J. B.; BRITO, M. de S. Gerenciamento de Lições Aprendidas: Estudo de Caso de Projeto de Integração Laboratorial. Instituição Superior de Administração e Economia do Mercosul – Fundação Getúlio Vargas. Curitiba, 2010.
- GRANDHI, G. *et al.* Lead-Free Cesium Titanium Bromide Double Perovskite Nanocrystals. **Nanomaterials**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. 1458, 2021.
- GRAU, D. *et al.* A Combined Planning and Controls Approach to Accurately Estimate, Monitor, and Stabilize Work Flow. *In*: 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando, Florida, United States. **Computing in Civil and Building Engineering (2014)**. Orlando, Florida, United States: American Society of Civil Engineers, 2014. p. 105–112. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784413616.014>. Acesso em: 28 fev. 2025.
- GRAY, C. F.; LARSON, E. W. **Gerenciamento de projetos**. São Paulo — SP: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda, 2018.
- HABES, M. *et al.* The Relation Between Social Media and Students' Academic Performance in Jordan: YouTube Perspective. *In*: HASSANIEN, A. E.; SHAALAN, K.; TOLBA, M. F. (org.). **Proceedings of the International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics 2019**. Cham: Springer International Publishing, 2020. (Advances in Intelligent Systems and Computing). v. 1058, p. 382–392. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-31129-2_35. Acesso em: 25 jan. 2025.
- HARTMANN, D. L. Observations: Atmosphere and Surface. *In*: Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, 2013. p. 159–254.

HARWARDT, M. Servant leadership and its effects on IT project success. **Journal of Project Management**, [s. l.], p. 59–78, 2020.

HERROELEN, W.; LEUS, R. Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 165, n. 2, p. 289–306, 2005.

HOSSEINIAN, A.; BARADARAN, V. Detecting communities of workforces for the multi-skill resource-constrained project scheduling problem: A dandelion solution approach. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, [s. l.], v. 12, p. 72–92, 2019.

HUNG CHEN, C. The major components of corporate social responsibility. **Journal of Global Responsibility**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 85–99, 2011.

HWANG, B.-G.; LIM, E.-S. J. Critical Success Factors for Key Project Players and Objectives: Case Study of Singapore. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 139, n. 2, p. 204–215, 2013.

IDALBERTO, C. **Introdução à Teoria Geral da Administração** . 3ª Ediçãoed. [S. l.: s. n.], 1983.

IPMA., I. P. M. A. **competence baseline for project, programme & portfolio management**. Zurich: [s. n.], 2015. v. 4th ed.

IQBAL, S. *et al.* Analyzing The Causes of Project Failure and Cost Overruns in Building Construction Industry by Using a Mixed-Methods Approach. **Pakistan Journal of Humanities and Social Sciences**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 1898–1916, 2024.

JOSHI, D. *et al.* An effective teaching-learning-based optimization algorithm for the multi-skill resource-constrained project scheduling problem. **Journal of Modelling in Management**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 1064–1087, 2019.

KADRI, R. L.; BOCTOR, F. F. An efficient genetic algorithm to solve the resource-constrained project scheduling problem with transfer times: The single mode case. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 265, n. 2, p. 454–462, 2018.

KANSKI, L.; PIZON, J. The impact of selected components of industry 4.0 on project management. **Journal of Innovation & Knowledge**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 100336, 2023.

KAVEH, A.; VAZIRINIA, Y. Chaotic Vibrating Particles System for Resource-Constrained Project Scheduling Problem. **Scientia Iranica**, [s. l.], v. 0, n. 0, p. 0–0, 2019.

KAZEMI, A.; KIM, E.-S.; KAZEMI, M.-H. Identifying and prioritizing delay factors in Iran's oil construction projects. **International Journal of Energy Sector Management**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 476–495, 2021.

KENDALL, G. I.; ROLLINS, S. C. Advanced project portfolio management and the PMO: multiplying ROI at warp speed. **J. Ross Publishing.**, [s. l.], 2003.

KERZNER, H. Project Management – A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. [s. l.], 2011.

KERZNER, H. **Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance, Third Edition**. 1. ed. [S. l.]: Wiley, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119427599>. Acesso em: 25 jan. 2025.

KIANI MAVI, R.; STANDING, C. Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 194, p. 751–765, 2018.

KONG, F.; DOU, D. Resource-Constrained Project Scheduling Problem under Multiple Time Constraints. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 147, n. 2, p. 04020170, 2021.

KOSTALOVA, J.; TETREVOVA, L.; SVEDIK, J. Support of Project Management Methods by Project Management Information System. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 210, p. 96–104, 2015.

KRAJEWSKI, L. J.; MALHOTRA, M. K.; RITZMAN, L. P. **Administração de produção e operações**. São Paulo: [s. n.], 2017.

KRETER, S.; SCHUTT, A.; STUCKEY, P. Using constraint programming for solving RCPSP/max-cal. [s. l.], p. 432–462, 2017.

KUMAR, R. *et al.* Modified Adsorbents for Removal of Heavy Metals from Aqueous Environment: A Review. **Earth Systems and Environment**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 83–93, 2019.

LABORIE, P. An Update on the Comparison of MIP, CP and Hybrid Approaches for Mixed Resource Allocation and Scheduling. *In*: VAN HOEVE, W.-J. (org.). **Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research**. Cham: Springer International Publishing, 2018. (Lecture Notes in Computer Science). v. 10848, p. 403–411. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-93031-2_29. Acesso em: 25 jan. 2025.

LACERDA, F. M.; MARTENS, C. D. P.; MACCARI, E. A. A gestão de projetos como apoio ao processo de produção de um periódico científico. **RDBCI Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 612–631, 2015.

LAURENT, A. *et al.* A new extension of the RCPSP in a multi-site context: Mathematical model and metaheuristics. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 112, p. 634–644, 2017.

LENFLE, S. The strategy of parallel approaches in projects with unforeseeable uncertainty: The Manhattan case in retrospect. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 29, n. 4, p. 359–373, 2011.

- LESSING, B.; THURNELL, D.; DURDYEV, S. Main Factors Causing Delays in Large Construction Projects: Evidence from New Zealand. **Journal of Management, Economics, and Industrial Organization**, [s. l.], p. 63–82, 2017.
- LIU, Y. *et al.* A late-mover genetic algorithm for resource-constrained project-scheduling problems. **Information Sciences**, [s. l.], v. 642, p. 119164, 2023.
- LIU, W. *et al.* Simulation-based hybrid genetic algorithms for the stochastic multi-mode resource-constrained project scheduling problem with minimized financial risk. **Applied Soft Computing**, [s. l.], v. 161, p. 111716, 2024.
- LIU, J. *et al.* Solving Resource-Constrained Project Scheduling Problem via Genetic Algorithm. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 04019055, 2020.
- LIU, Wanlin; ZHANG, J.; LIU, Wanjun. Heuristic Methods for Finance-Based and Resource-Constrained Project Scheduling Problem. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 147, n. 11, p. 04021141, 2021.
- LOCATELLI, G. *et al.* A Manifesto for project management research. **European Management Review**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 3–17, 2023.
- MA, X. *et al.* A Robust CRISPR/Cas9 System for Convenient, High-Efficiency Multiplex Genome Editing in Monocot and Dicot Plants. **Molecular Plant**, [s. l.], v. 8, n. 8, p. 1274–1284, 2015.
- MACHONA, L.; CHIKODZI, D.; SITHOLE, N. Water Quality Analysis for Springs in Bvumba Catchment Area, Manicaland Province, Zimbabwe. **Journal of Geography, Environment and Earth Science International**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 1–13, 2017.
- MAHMOUDZADEH, M.; SEYFI, A. The Effect of Product Market Competition on the Relationship between Capital Structure and Financial Performance of Companies. [s. l.], 29 jun. 2017. Disponível em: <https://www.econjournals.com/index.php/ijefi/article/view/4807>.
- MAO, H.; YUAN, J. The performance of priority rules for the decentralized resource-constrained multi-project scheduling. **Knowledge-Based Systems**, [s. l.], v. 304, p. 112530, 2024.
- MARITAN, C. A.; LEE, G. K. Resource Allocation and Strategy. **Journal of Management**, [s. l.], v. 43, n. 8, p. 2411–2420, 2017.
- MCGRATH, J.; KOSTALOVA, J. Project Management Trends and New Challenges 2020+. *In*: HRADEC ECONOMIC DAYS 2020, 2020. (P. Maresova et al., Org.) **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2020. p. 534–542. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.12603/261>. Acesso em: 25 jan. 2025.
- MELO, S. A. P. *et al.* Modelo de priorização de projetos e atividades em ambientes de múltiplos projetos. [s. l.], 2006.
- MEMON, A. H. *et al.* Investigation of Project Delays: Towards a Sustainable Construction Industry. **Sustainability**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 1457, 2023.

MERIGÓ, J. M. Academic research in innovation: A country analysis. **Scientometrics**, [s. l.], v. 108, p. 559–593, 2016.

MIGUEL, P. A. C. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. [S. l.]: Elsevier, 2010.

MISNI, F.; LEE, L. S. A Review on Strategic, Tactical and Operational Decision Planning in Reverse Logistics of Green Supply Chain Network Design. **Journal of Computer and Communications**, [s. l.], v. 05, n. 08, p. 83–104, 2017.

MORADI, M.; HAFEZALKOTOB, A.; GHEZAVATI, V. Robust resource-constrained project scheduling problem of the project's subcontractors in a cooperative environment under uncertainty: Social complex construction case study. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 133, p. 19–28, 2019.

MURRAY, M. Rethinking Construction: The Egan Report (1998). *In*: MURRAY, M.; LANGFORD, D. (org.). **Construction Reports 1944–98**. 1. ed. [S. l.]: Wiley, 2003. p. 178–195. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470758526.ch13>. Acesso em: 25 jan. 2025.

MYSZKOWSKI, P. B. *et al.* Hybrid Differential Evolution and Greedy Algorithm (DEGR) for solving Multi-Skill Resource-Constrained Project Scheduling Problem. **Applied Soft Computing**, [s. l.], v. 62, p. 1–14, 2018.

MYSZKOWSKI, P. B.; LASZCZYK, M. Investigation of benchmark dataset for many-objective Multi-Skill Resource Constrained Project Scheduling Problem. **Applied Soft Computing**, [s. l.], v. 127, p. 109253, 2022.

NASSAR, N.; ABOURIZK, S. Practical Application for Integrated Performance Measurement of Construction Projects. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 30, n. 6, p. 04014027, 2014.

NEMAT-LAFMEJANI, R.; DAVARI-ARDAKANI, H.; NAJAFZAD, H. Multi-mode resource constrained project scheduling and contractor selection: Mathematical formulation and metaheuristic algorithms. **Applied Soft Computing**, [s. l.], v. 81, p. 105533, 2019.

NGUYEN, L. H. Empirical Analysis of a Management Function's Failures in Construction Project Delay. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 26, 2020.

NINPAN, K. *et al.* A Modular Heuristic-Based Solution for Large-Scale Outage Management in Nuclear Power Plants. **EPJ Web of Conferences**, [s. l.], v. 302, p. 17007, 2024.

OBI, L. I. *et al.* Critical success factors for cost management in public-housing projects. **Construction Innovation**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 625–647, 2021.

OLIVEIRA, D. de P. R. **Planejamento Estratégico: Conceitos, Métodos e Práticas**. 342. ed. [S. l.: s. n.], 2007.

ORTÍZ PIMIENTO, N. R.; DIAZ SERNA, F. J. An optimization model to solve the resource constrained project scheduling problem RCPSP in new product development projects. **DYNA**, [s. l.], v. 87, n. 212, p. 179–188, 2020.

OZTEMEL, E.; SELAM, A. A. Bees Algorithm for multi-mode, resource-constrained project scheduling in molding industry. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 112, p. 187–196, 2017.

PALACIO, J. D.; LARREA, O. L. A lexicographic approach to the robust resource-constrained project scheduling problem. **International Transactions in Operational Research**, [s. l.], v. 24, n. 1–2, p. 143–157, 2017.

PANKRATZ, O.; BASTEN, D. Opening the black box: Managers' perceptions of IS project success mechanisms. **Information & Management**, [s. l.], v. 55, n. 3, p. 381–395, 2018.

PELLERIN, R.; PERRIER, N.; BERTHAUT, F. A survey of hybrid metaheuristics for the resource-constrained project scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 280, n. 2, p. 395–416, 2020.

PÉREZ, E.; POSADA, M.; LORENZANA, A. Taking advantage of solving the resource constrained multi-project scheduling problems using multi-modal genetic algorithms. **Soft Computing**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 1879–1896, 2016.

PMI. **The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge**. [S. l.: s. n.], 2021. v. 7th ed.

POON, K.; MUSTI, S.; WETTASINGHE, M. Special Education in Singapore History, Trends, and Future Directions. **Intervention in School and Clinic**, [s. l.], v. 49, p. 59–64, 2013.

QUDAH, S. M. A. A.; FUENTES-BARGUES, J. L.; FERRER-GISBERT, P. S. Bibliometric analysis of the literature on risk management in the construction sector: Exploring current and future trends. **Ain Shams Engineering Journal**, [s. l.], v. 15, n. 8, p. 102843, 2024.

RAHMAN, H. F.; CHAKRABORTTY, R. K.; RYAN, M. J. Memetic algorithm for solving resource constrained project scheduling problems. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 111, p. 103052, 2020.

REHAN, A.; THORPE, D.; HERAVI, A. Project manager's leadership behavioural practices – A systematic literature review. **Asia Pacific Management Review**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 165–178, 2024.

SAAD, H. M. H. *et al.* Quantum-Inspired Genetic Algorithm for Resource-Constrained Project-Scheduling. **IEEE Access**, [s. l.], v. 9, p. 38488–38502, 2021.

SAEED, Y. S. Cost and Time Risk Management in Construction Projects. **Tikrit Journal of Engineering Sciences**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 42–48, 2018.

- SALLAM, K. M.; CHAKRABORTTY, R. K.; RYAN, M. J. A reinforcement learning based multi-method approach for stochastic resource constrained project scheduling problems. **Expert Systems with Applications**, [s. l.], v. 169, p. 114479, 2021.
- SÁNCHEZ, M. G. *et al.* Resource-constrained multi-project scheduling problem: A survey. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 309, n. 3, p. 958–976, 2023.
- SATIC, U.; JACKO, P.; KIRKBRIDE, C. Performance evaluation of scheduling policies for the dynamic and stochastic resource-constrained multi-project scheduling problem. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 60, n. 4, p. 1411–1423, 2022.
- SAURABH PATIL *et al.* Contrasting cloud microphysics during the northeast monsoon over the coastal Bay of Bengal. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.25388.54407>. Acesso em: 25 jan. 2025.
- SAWANT, R. *et al.* Research Trends and Impacts of Blockchain Technology in Construction Sector: Scientistometric Study. **Data and Metadata**, [s. l.], v. 3, 2024.
- SCHOLTEN, K.; DE BLOK, C.; HAAR, R.-J. How Flexibility Accommodates Demand Variability in a Service Chain: Insights from Exploratory Interviews in the Refugee Supply Chain. *In*: KOVÁCS, G.; SPENS, K.; MOSHTARI, M. (org.). **The Palgrave Handbook of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management**. London: Palgrave Macmillan UK, 2018. p. 359–393. Disponível em: http://link.springer.com/10.1057/978-1-137-59099-2_12. Acesso em: 25 jan. 2025.
- SCHUTT, R. K.; DENG, X.; STOEHR, T. Using Bibliotherapy to Enhance Probation and Reduce Recidivism. **Journal of Offender Rehabilitation**, [s. l.], v. 52, n. 3, p. 181–197, 2013.
- SERVRANCKX, T.; COELHO, J.; VANHOUCKE, M. A genetic algorithm for the Resource-Constrained Project Scheduling Problem with Alternative Subgraphs using a boolean satisfiability solver. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 316, n. 3, p. 815–827, 2024.
- SHAHABI-SHAHMIRI, R. *et al.* Preemptive and non-preemptive multi-skill multi-mode resource-constrained project scheduling problems considering sustainability and energy consumption: A comprehensive mathematical model. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 367, p. 121986, 2024.
- SHELBOURN, M. Collaborative Work in Construction. London, 2012.
- SHENHAR, A. J. *et al.* Project Success: A Multidimensional Strategic Concept. **Long Range Planning**, [s. l.], v. 34, n. 6, p. 699–725, 2001.
- SICOTTE, H.; DELERUE, H. Project planning, top management support and communication: A trident in search of an explanation. **Journal of Engineering and Technology Management**, [s. l.], v. 60, p. 101626, 2021.

SNAUWAERT, J.; VANHOUCHE, M. A new algorithm for resource-constrained project scheduling with breadth and depth of skills. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 292, n. 1, p. 43–59, 2021.

SONMEZ, R.; UYSAL, F. Backward-Forward Hybrid Genetic Algorithm for Resource-Constrained Multiproject Scheduling Problem. **Journal of Computing in Civil Engineering**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 04014072, 2015.

SOUZA, C. D. S. V. C. D.; WELERSON, J. V. A. C. M. O problema de sequenciamento em projeto com restrição de recurso: um estudo bibliométrico. **REVISTA DELOS**, [s. l.], v. 18, n. 63, 2025. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/3689>. Acesso em: 25 jan. 2025.

TAKAGI, N.; VARAJÃO, J. **Success Management and the Project Management Body of Knowledge (PMBOK): An Integrated Perspective -research-in-progress**. [S. l.: s. n.], 2020.

TAMALA, J. K. *et al.* A bibliometric analysis of sustainable oil and gas production research using VOSviewer. **Cleaner Engineering and Technology**, [s. l.], v. 7, p. 100437, 2022.

TANG, Y. *et al.* Resource Leveling Based on Line of Balance and Constraint Programming. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 10, p. 864–884, 2018.

TEIXEIRA, A. A.; ALENCAR, L. H. MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA UM SEQUENCIAMENTO DE RECURSOS EM PROJETOS SIMULTÂNEOS USANDO ALGORÍTMO GENÉTICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP**, [s. l.], p. 1–13, 2024.

TERZIEVA, M.; MORABITO, V. Learning from Experience: The Project Team is the Key. **Business Systems Research Journal**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1–15, 2016.

TIAN, M.; LIU, R. J.; ZHANG, G. J. Solving the resource-constrained multi-project scheduling problem with an improved critical chain method. **Journal of the Operational Research Society**, [s. l.], v. 71, n. 8, p. 1243–1258, 2020.

TORABI YEGANEH, F.; ZEGORDI, S. H. A multi-objective optimization approach to project scheduling with resiliency criteria under uncertain activity duration. **Annals of Operations Research**, [s. l.], v. 285, n. 1–2, p. 161–196, 2020.

VAN EYNDE, R.; VANHOUCHE, M. Resource-constrained multi-project scheduling: benchmark datasets and decoupled scheduling. **Journal of Scheduling**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 301–325, 2020.

VANHOUCHE, M.; COELHO, J. An analysis of network and resource indicators for resource-constrained project scheduling problem instances. **Computers & Operations Research**, [s. l.], v. 132, p. 105260, 2021.

VARGAS, R. V. **Gerenciamento de Projetos**. 3. ed. [S. l.: s. n.], 2003.

- VILLAFÁÑEZ, F. *et al.* Portfolio scheduling: an integrative approach of limited resources and project prioritization. **Journal of Project Management**, [s. l.], p. 103–116, 2020.
- WANG, H. W.; LIN, J. R.; ZHANG, J. P. Work package-based information modeling for resource-constrained scheduling of construction projects. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 109, p. 102958, 2020.
- WASIM, S. S.; KHALIDI, M. A. Causes of Construction Project Failures in Pakistan. **Civil and Environmental Research**, [s. l.], p. 38–41, 2018.
- WATSON, V. 'The planned city sweeps the poor away...': Urban planning and 21st century urbanisation. **Progress in Planning**, [s. l.], v. 72, n. 3, p. 151–193, 2009.
- WAZLAWICK, R. Uma Reflexão sobre a Pesquisa em Ciência da Computação à Luz da Classificação das Ciências e do Método Científico. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, [s. l.], 2010.
- WU, X. *et al.* Resource misallocation and the development of hydropower industry. **Applied Energy**, [s. l.], v. 306, p. 118024, 2022.
- XIAO, J. *et al.* Integration of electromagnetism with multi-objective evolutionary algorithms for RCPSP. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 251, n. 1, p. 22–35, 2016.
- XIE, L.-L. *et al.* Knowledge extraction for solving resource-constrained project scheduling problem through decision tree. **School of Economics and Management, Tongji University**, [s. l.], v. 31, p. 1–26, 2024.
- XIE, F.; LI, H.; XU, Z. Multi-mode resource-constrained project scheduling with uncertain activity cost. **Expert Systems with Applications**, [s. l.], v. 168, p. 114475, 2021.
- YAP, J. B. H.; CHOW, I. N. Investigating the managerial “nuts and bolts” for the construction industry. **Built Environment Project and Asset Management**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 331–348, 2020.
- YIN, R. K. Case study research and applications: Design and methods. [s. l.], 2017. 6.
- YU, C.-H. *et al.* Comparison of misallocation between the Chinese thermal power and hydropower electricity industries. **Economic Modelling**, [s. l.], v. 116, p. 106007, 2022.
- YU, C.-H. *et al.* Resource misallocation in the Chinese wind power industry: The role of feed-in tariff policy. **Energy Economics**, [s. l.], v. 98, p. 105236, 2021.
- YUAN, Y. *et al.* Multi-objective multi-mode resource-constrained project scheduling with fuzzy activity durations in prefabricated building construction. **Computers & Industrial Engineering**, [s. l.], v. 158, p. 107316, 2021.

ZAMAN, M. *et al.* Correction: Zaman et al. Synthesis and Evaluation of Thiol-Conjugated Poloxamer and Its Pharmaceutical Applications. *Pharmaceutics* 2021, 13, 693. **Pharmaceutics**, [s. l.], v. 16, n. 5, p. 690, 2024.

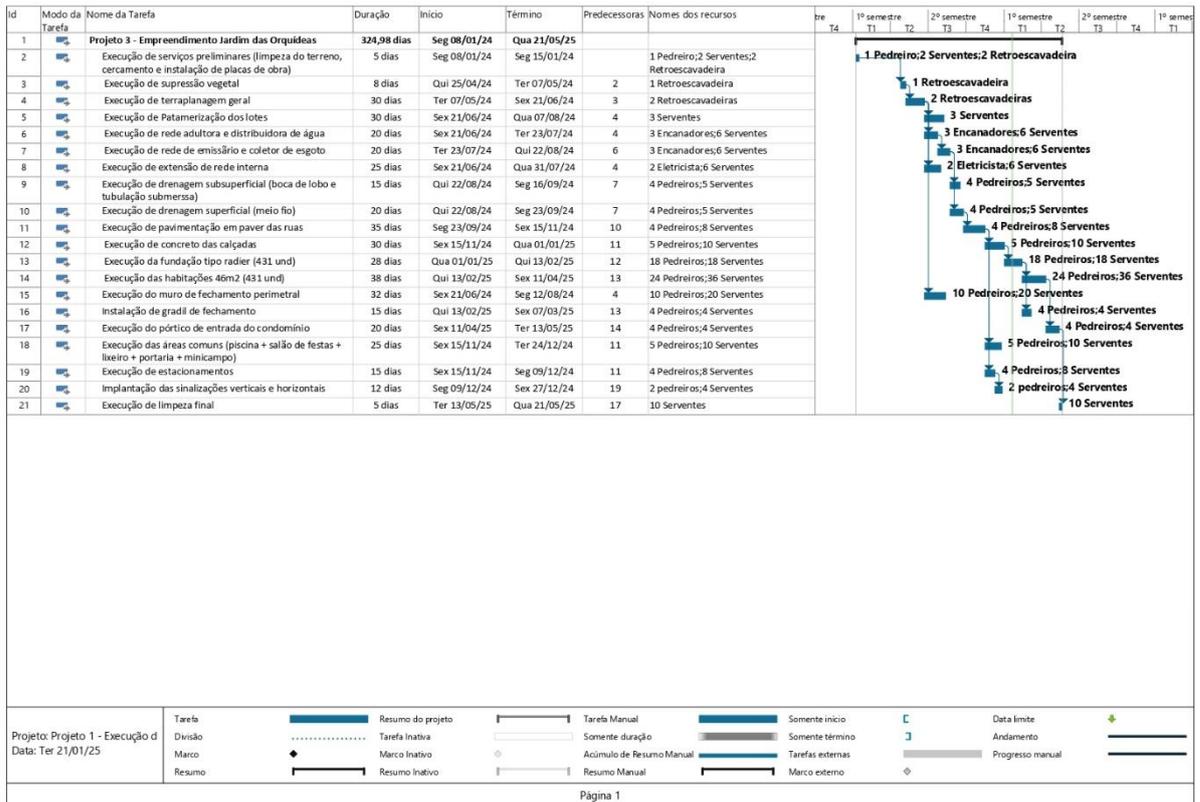
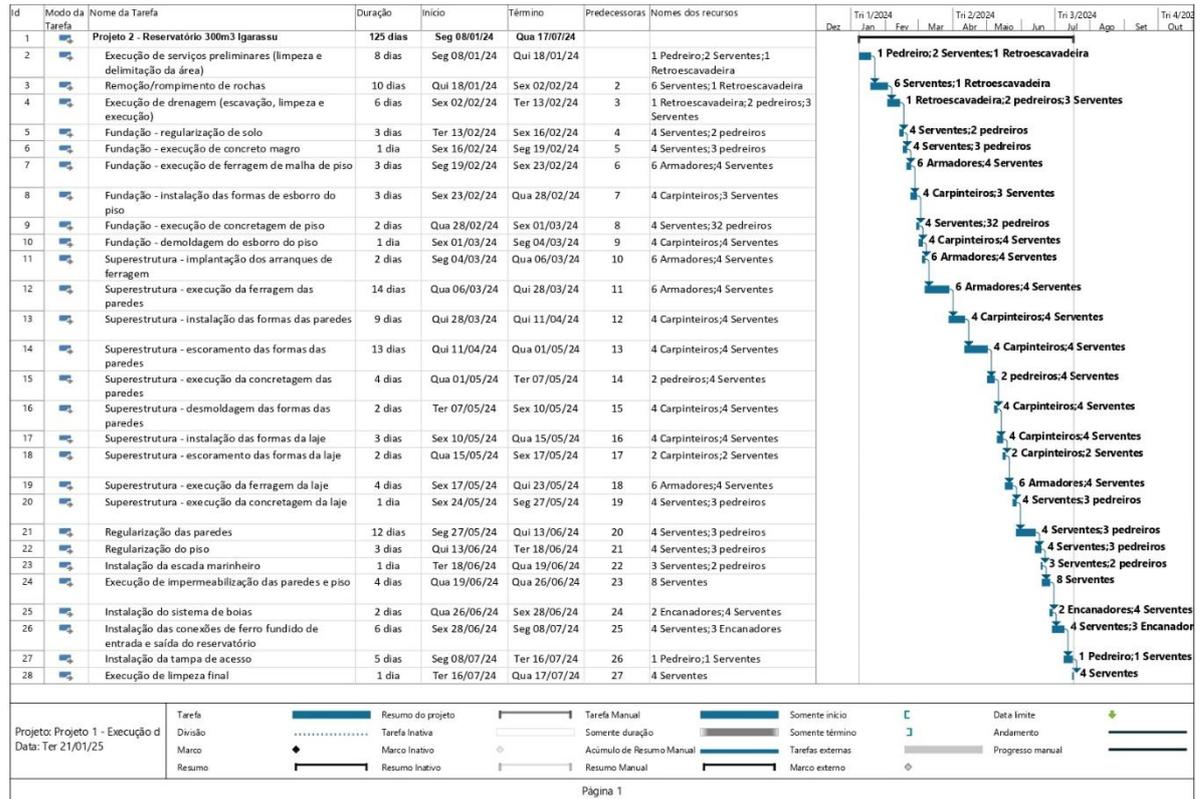
ZARGHAMI, S. A. Forecasting Project Duration in the Face of Disruptive Events: A Resource-Based Approach. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 148, n. 5, 2022.

ZHENG, G. G.; REN, J. J.; WANG, X. H. The Correlation of Health Behavior or Habits and Academic Achievement among Middle School Students. *Chinese Journal of Social Medical*, 2018. 35, p. 49–52.

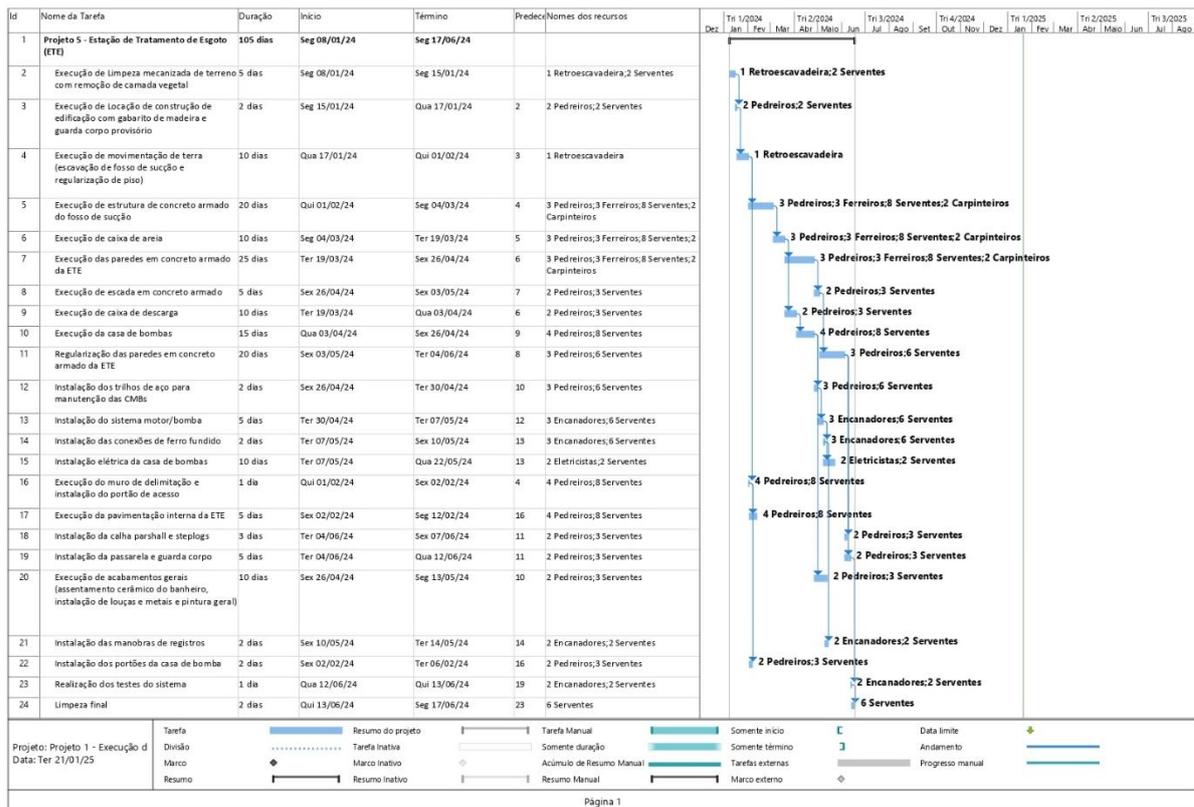
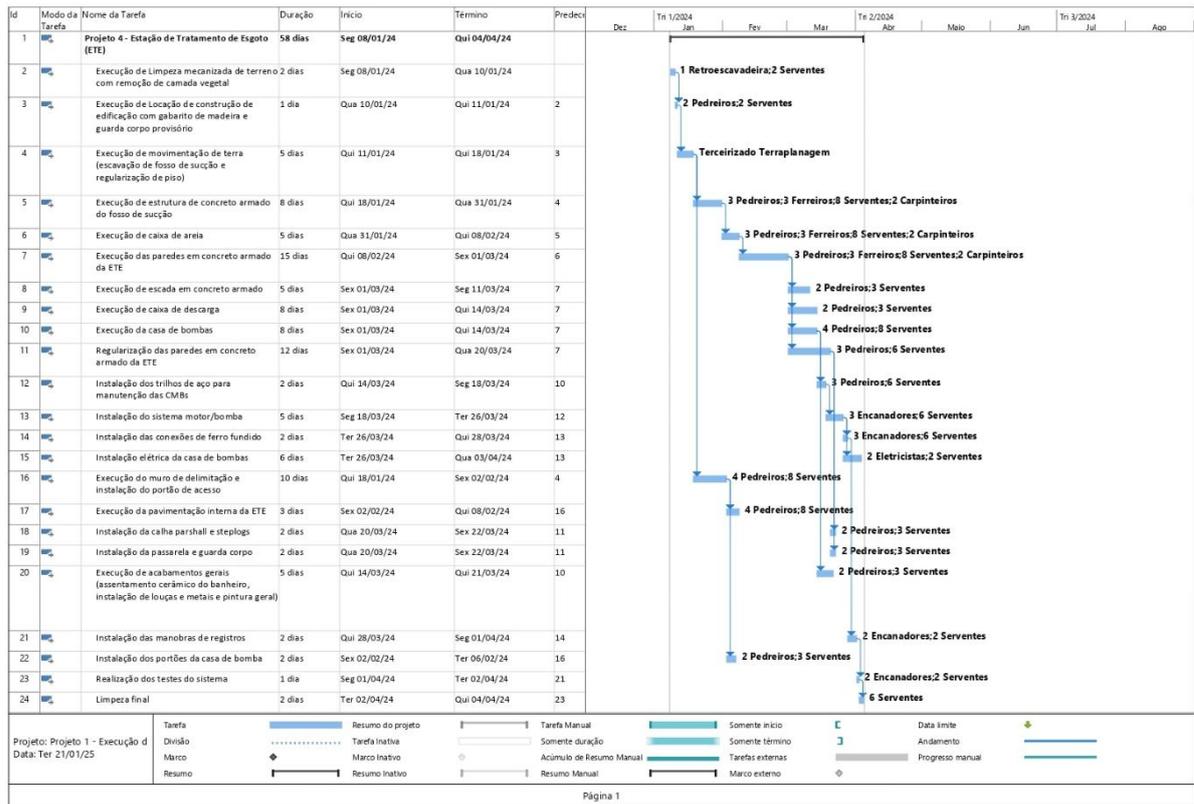
ZHU, X. *et al.* An effective heuristic for project scheduling with resource availability cost. **European Journal of Operational Research**, [s. l.], v. 257, n. 3, p. 746–762, 2017.

ZIDANE, Y. J.-T.; ANDERSEN, B. The top 10 universal delay factors in construction projects. **International Journal of Managing Projects in Business**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 650–672, 2018.

APÊNDICE A – CRONOGRAMA DOS PROJETOS 2 e 3



APÊNDICE B – CRONOGRAMA DOS PROJETOS 4 e 5



APÊNDICE C – DETALHAMENTO DO PROJETO 2

Tarefas	Duração	Pred	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	8	0	1	2	0	0	0	0	1
2	10	1	0	6	0	0	0	0	0
3	6	2	1	4	0	0	0	0	0
4	3	3	2	4	0	0	0	0	0
5	1	4	0	2	0	0	3	0	0
6	3	5	0	2	0	0	0	2	0
7	3	6	2	4	0	0	0	0	0
8	2	7	0	2	0	0	0	2	0
9	1	8	0	2	0	0	3	0	0
10	2	9	0	2	0	0	3	0	0
11	14	10	0	2	0	0	0	2	0
12	9	11	0	2	0	0	0	2	0
13	13	12	2	4	0	0	0	0	0
14	4	13	0	2	0	0	0	2	0
15	2	14	0	2	0	0	0	2	0
16	3	15	0	2	0	0	0	2	0
17	2	16	0	2	0	0	3	0	0
18	4	17	2	4	0	0	0	0	0
19	1	18	2	4	0	0	0	0	0
20	12	19	2	4	0	0	0	0	0
21	3	20	1	3	0	0	0	0	0
22	1	21	0	4	0	0	0	0	0
23	4	22	0	4	1	0	0	0	0
24	2	23	0	1	2	0	0	0	0
25	6	24	2	4	0	0	0	0	0
26	5	25	1	1	0	0	0	0	0
27	1	26	0	4	0	0	0	0	0

APÊNDICE D – DETALHAMENTO DO PROJETO 3

Tarefas	Duração	Pred	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	5	0	1	2	0	0	0	0	2
2	8	1	0	0	0	0	0	0	1
3	30	2	0	0	0	0	0	0	2
4	30	3	0	3	0	0	0	0	0
5	20	3	0	6	3	0	0	0	0
6	20	5	0	6	3	0	0	0	0
7	25	3	0	6	0	2	0	0	0
8	15	6	4	5	0	0	0	0	0
9	20	6	4	5	0	0	0	0	0
10	35	9	4	8	0	0	0	0	0
11	30	10	5	10	0	0	0	0	0
12	28	11	12	18	0	0	0	0	0
13	38	12	24	36	0	2	0	0	0
14	32	3	10	20	0	0	0	0	0
15	15	14	4	4	0	0	0	0	0
16	20	15	4	4	0	0	2	2	0
17	25	10	5	10	0	0	2	2	0
18	15	10	4	8	0	0	0	0	0
19	12	18	2	4	0	0	0	0	0
20	5	19	0	10	0	0	0	0	0

APÊNDICE E – DETALHAMENTO DO PROJETO 4

Tarefas	Duração	Pred	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	2	0	0	2	0	0	0	0	1
2	1	1	1	2	0	0	0	0	0
3	5	2	0	0	0	0	0	0	2
4	8	3	2	5	0	0	3	2	0
5	5	4	2	5	0	0	3	2	0
6	15	5	2	5	0	0	3	2	0
7	5	6	1	2	0	0	0	0	0
8	8	6	1	2	0	0	0	0	0
9	8	6	2	4	0	0	0	0	0
10	12	6	2	5	0	0	0	0	0
11	2	9	2	5	0	0	0	0	0
12	5	11	0	4	3	0	0	0	0
13	2	12	0	4	3	0	0	0	0
14	6	12	0	2	0	2	0	0	0
15	10	3	2	4	0	0	0	0	0
16	3	15	2	4	0	0	0	0	0
17	2	10	1	2	0	0	0	0	0
18	2	10	1	2	0	0	0	0	0
19	5	9	1	2	0	0	0	0	0
20	2	13	0	2	2	0	0	0	0
21	2	15	1	2	0	0	0	0	0
22	1	20	0	2	2	0	0	0	0
23	2	22	0	4	0	0	0	0	0

APÊNDICE F – DETALHAMENTO DO PROJETO 5

Tarefas	Duração	Pred	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	5	0	0	2	0	0	0	0	1
2	2	1	2	2	0	0	0	0	0
3	10	2	0	0	0	0	0	0	1
4	20	3	3	8	0	0	3	2	0
5	10	4	3	8	0	0	3	2	0
6	25	5	3	8	0	0	3	2	0
7	5	6	2	3	0	0	0	0	0
8	10	6	2	3	0	0	0	0	0
9	15	6	4	8	0	0	0	0	0
10	20	6	3	6	0	0	0	0	0
11	2	9	3	6	0	0	0	0	0
12	5	11	0	6	3	0	0	0	0
13	2	12	0	6	3	0	0	0	0
14	10	12	0	2	0	2	0	0	0
15	15	3	4	8	0	0	0	0	0
16	5	15	4	8	0	0	0	0	0
17	3	10	2	3	0	0	0	0	0
18	3	10	2	3	0	0	0	0	0
19	10	9	2	3	0	0	0	0	0
20	2	13	0	2	2	0	0	0	0
21	2	15	2	3	0	0	0	0	0
22	1	20	0	2	2	0	0	0	0
23	2	22	0	6	0	0	0	0	0

APÊNDICE G – DETALHAMENTO DO 2º e 3º PROCESSAMENTO

Tarefa	Início	Término	Duração	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	1	5	5	1	2	0	0	0	0	1
2	6	10	5	1	2	0	0	0	0	0
3	11	11	1	1	4	0	0	0	0	0
4	12	12	1	2	4	0	0	0	0	0
5	44	46	3	0	2	0	0	3	0	0
6	13	14	2	0	2	0	0	0	2	0
7	15	15	1	2	4	0	0	0	0	0
8	16	16	1	0	2	0	0	0	2	0
9	17	17	1	0	2	0	0	3	0	0
10	18	25	8	0	2	0	0	3	0	0
11	26	31	6	0	2	0	0	0	2	0
12	32	39	8	0	2	0	0	0	2	0
13	40	41	2	2	4	0	0	0	0	0
14	42	43	2	0	2	0	0	0	2	0
15	44	45	2	0	2	0	0	0	2	0
16	48	48	1	0	2	0	0	0	2	0
17	49	51	3	0	2	0	0	3	0	0
18	52	52	1	2	4	0	0	0	0	0
19	53	57	5	2	4	0	0	0	0	0
20	70	71	2	2	4	0	0	0	0	0
21	74	74	1	1	3	0	0	0	0	0
22	75	76	2	0	4	0	0	0	0	0
23	70	71	2	0	4	1	0	0	0	0
24	74	76	3	0	1	2	0	0	0	0
25	58	62	5	2	4	0	0	0	0	0
26	74	74	1	1	1	0	0	0	0	0
27	75	76	2	0	4	0	0	0	0	0
1	1	8	8	1	2	0	0	0	0	1
2	9	18	10	0	6	0	0	0	0	0
3	19	24	6	1	4	0	0	0	0	0
4	25	27	3	2	4	0	0	0	0	0
5	28	28	1	0	2	0	0	3	0	0
6	29	31	3	0	2	0	0	0	2	0
7	32	34	3	2	4	0	0	0	0	0
8	35	36	2	0	2	0	0	0	2	0
9	37	37	1	0	2	0	0	3	0	0
10	38	39	2	0	2	0	0	3	0	0
11	40	53	14	0	2	0	0	0	2	0
12	54	62	9	0	2	0	0	0	2	0
13	63	75	13	2	4	0	0	0	0	0
14	76	79	4	0	2	0	0	0	2	0
15	80	81	2	0	2	0	0	0	2	0

Continua na próxima página

APÊNDICE G – DETALHAMENTO DO 2º e 3º PROCESSAMENTO (CONTINUAÇÃO)

Tarefa	Início	Término	Duração	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
21	104	106	3	1	3	0	0	0	0	0
22	107	107	1	0	4	0	0	0	0	0
23	108	111	4	0	4	1	0	0	0	0
24	112	113	2	0	1	2	0	0	0	0
25	114	115	2	2	4	0	0	0	0	0
26	116	117	2	1	1	0	0	0	0	0
27	119	119	1	0	4	0	0	0	0	0
1	1	5	5	1	2	0	0	0	0	2
2	6	13	8	0	0	0	0	0	0	1
3	14	43	30	0	0	0	0	0	0	2
4	44	73	30	0	3	0	0	0	0	0
5	44	63	20	0	6	3	0	0	0	0
6	64	83	20	0	6	3	0	0	0	0
7	53	77	25	0	6	0	2	0	0	0
8	89	103	15	4	5	0	0	0	0	0
9	84	103	20	4	5	0	0	0	0	0
10	104	138	35	4	8	0	0	0	0	0
11	139	168	30	5	10	0	0	0	0	0
12	169	196	28	12	18	0	0	0	0	0
13	197	234	38	24	36	0	2	0	0	0
14	79	110	32	10	20	0	0	0	0	0
15	111	125	15	4	4	0	0	0	0	0
16	212	231	20	4	4	0	0	2	2	0
17	145	169	25	5	10	0	0	2	2	0
18	141	155	15	4	8	0	0	0	0	0
19	159	170	12	2	4	0	0	0	0	0
20	171	185	5	0	10	0	0	0	0	0
1	1	2	2	0	2	0	0	0	0	1
2	3	3	1	1	2	0	0	0	0	0
3	4	8	5	0	0	0	0	0	0	2
4	10	17	8	2	5	0	0	3	2	0
5	32	36	5	2	5	0	0	3	2	0
6	54	68	15	2	5	0	0	3	2	0
7	103	107	5	1	2	0	0	0	0	0
8	96	103	8	1	2	0	0	0	0	0
9	70	77	8	2	4	0	0	0	0	0
10	78	89	12	2	5	0	0	0	0	0
11	86	87	2	2	5	0	0	0	0	0
12	90	94	5	0	4	3	0	0	0	0
13	96	97	2	0	4	3	0	0	0	0
14	108	113	6	0	2	0	2	0	0	0
15	47	56	10	2	4	0	0	0	0	0
16	60	62	3	2	4	0	0	0	0	0
17	112	113	2	1	2	0	0	0	0	0
18	112	113	2	1	2	0	0	0	0	0
19	101	105	5	1	2	0	0	0	0	0

Continua na próxima página

APÊNDICE G – DETALHAMENTO DO 2º e 3º PROCESSAMENTO (CONTINUAÇÃO)

Tarefa	Início	Término	Duração	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
1	1	5	5	0	2	0	0	0	0	1
2	6	7	2	2	2	0	0	0	0	0
3	8	17	10	0	0	0	0	0	0	1
4	18	37	20	3	8	0	0	3	2	0
5	40	49	10	3	8	0	0	3	2	0
6	51	75	25	3	8	0	0	3	2	0
7	120	124	5	2	3	0	0	0	0	0
8	114	123	10	2	3	0	0	0	0	0
9	76	90	15	4	8	0	0	0	0	0
10	119	138	20	3	6	0	0	0	0	0
11	92	93	2	3	6	0	0	0	0	0
12	103	107	5	0	6	3	0	0	0	0
13	113	114	2	0	6	3	0	0	0	0
14	115	117	2	0	2	0	2	0	0	0
15	19	33	15	4	8	0	0	0	0	0
16	52	56	5	4	8	0	0	0	0	0
17	110	113	3	2	3	0	0	0	0	0
18	113	116	3	2	3	0	0	0	0	0
19	100	110	10	2	3	0	0	0	0	0
20	122	123	2	0	2	2	0	0	0	0
21	111	113	2	2	3	0	0	0	0	0
22	124	124	1	0	2	2	0	0	0	0
23	114	125	2	0	6	0	0	0	0	0