



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Problema Integrado de Ajuste de Fluxo de Caixa e Sequenciamento de Projetos

Soraya Quaresma Santos

João Monlevade-MG, Julho de 2022



Soraya Quaresma Santos

Problema Integrado de Ajuste de Fluxo de Caixa e Sequenciamento de Projetos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFOP (Linha de Pesquisa: Modelagem de Sistemas Produtivos e Logísticos), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Miranda Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva

João Monlevade-MG

Julho de 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S237p Santos, Soraya Quaresma.
Problema integrado de ajuste de fluxo de caixa e sequenciamento de projetos. [manuscrito] / Soraya Quaresma Santos. - 2022.
57 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Miranda Júnior.
Coorientador: Prof. Dr. Thiago Augusto de Oliveira Silva.
Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

1. Fluxo de caixa. 2. Administração de projetos - Sequenciamento de Projetos. 3. Estudos de viabilidade - Viabilidade Financeira. I. Júnior, Gilberto Miranda. II. Silva, Thiago Augusto de Oliveira. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 658.5

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



FOLHA DE APROVAÇÃO

Soraya Quaresma Santos

Problema Integrado de Ajuste de Fluxo de Caixa e Sequenciamento de Projetos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Aprovada em 28 de Julho de 2022

Membros da banca

Prof. Dr. Gilberto de Miranda Junior - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto - DEENP/ICEA)
Prof. Dr. Thiago Augusto Oliveira Silva - Co-Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto - DEENP/ICEA)
Prof. Dr. Alexandre Xavier Martins - (Universidade Federal de Ouro Preto - DEENP/ICEA)
Prof. Dr. Rodney Rezende Saldanha - (Universidade Federal de Minas Gerais - CPDEE)

Prof. Dr. Gilberto de Miranda Junior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 29/07/2022



Documento assinado eletronicamente por **Gilberto de Miranda Júnior, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/07/2022, às 10:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0370199** e o código CRC **073FD72C**.

Resumo

Nos últimos anos tem surgido com mais frequência pesquisas representativas relacionadas ao sequenciamento de projetos e fluxos de caixa, entretanto, poucas pesquisas incorporam financiamentos e empréstimos como uma opção de viabilização financeira para tais empreendimentos. Em contextos que envolvem a Gestão da Construção, normalmente estamos falando de empreendimentos de alto custo e com um longo horizonte de planejamento, em problemas práticos o empréstimo não é apenas uma opção, mas sim a única forma de executar o projeto. Dessa forma, a presente pesquisa apresenta algumas referências-chaves que embasaram a construção de um modelo que integra os problemas de ajuste de fluxo de caixa e sequenciamento de projetos com recursos limitados incorporando o financiamento como uma forma de viabilizar financeiramente os projetos. O modelo tem foco em uma aplicação na indústria da construção civil, sendo uma das indústrias que sofre grandes impactos devido às constantes crises econômicas. Portanto, a partir de um capital inicial disponibilizado pelo empreiteiro junto ao fluxo de caixa proveniente dos empréstimos e retorno de atividades remuneradas o modelo de programação linear inteira mista propõe a maximização do Valor Presente Líquido ao final do horizonte de planejamento. Assim, o problema determina quando as atividades são iniciadas, quando empréstimos serão tomados e amortização da dívida ao final do projeto em cenários gerados aleatoriamente por um gerador.

Palavras-chaves: Fluxo de Caixa. Sequenciamento de Projetos. Viabilidade Financeira.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Gráfico de Gantt - Instância Básica	29
Figura 2 – Fluxo de caixa	30
Figura 3 – Input gerador de instâncias aleatórias	43
Figura 4 – Output gerador de instâncias aleatórias - Instância com 10 atividades .	44

Lista de tabelas

Tabela 1 – Caracterização dos parâmetros e das variáveis do problema abordado por (DEMEULEMEESTER; HERROELEN, 1992)	6
Tabela 2 – Caracterização dos parâmetros e das variáveis do problema abordado por (KOCHERLAKOTA; ROSENBLOOM; SHIU, 1988)	8
Tabela 3 – Caracterização dos parâmetros e das variáveis do problema abordado por (MARTINS, 2017)	13
Tabela 4 – Caracterização dos parâmetros e das variáveis do problema proposto .	26
Tabela 5 – Instância Básica	28
Tabela 6 – Tabela descritiva do financiamentos disponíveis	28
Tabela 7 – Proporção de capital próprio e de terceiros em cada grupo de instâncias	33
Tabela 8 – Média dos Resultados dos testes	33
Tabela 9 – Testes que apresentaram GAP	34
Tabela 10 – Comparação entre trabalhos e modelos	47

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo Geral	3
1.2	Objetivos Específicos	3
1.3	Organização do Trabalho	3
2	REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1	Sequenciamento de projetos com recursos limitados	5
2.2	Ajuste de fluxo de caixa	7
2.3	Ajuste de Fluxo de Caixa e Sequenciamento de Projetos	9
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
4	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	23
4.1	Formulação Matemática	25
5	RESULTADOS	31
5.1	Gerador de Instâncias	31
5.2	Condução do experimento	32
5.3	Resultados obtidos	33
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	35
	REFERÊNCIAS	37
	ANEXOS	41
	ANEXO A – IMAGENS ARQUIVOS GERADOR DE INSTÂNCIAS	43
	ANEXO B – TABELA COM OS RESULTADOS DE TODAS AS INSTÂNCIAS	45

1 Introdução

A Gestão da Construção pode ser definida como um serviço que foca em uma aplicação eficiente de algumas técnicas para controle de indicadores relacionados ao tempo, ao custo, à qualidade, ao meio ambiente e à segurança. Todos esses indicadores são avaliados desde a fase de planejamento do projeto até o término da execução e, nos casos de necessidade, durante a manutenção. Quanto mais escalável é o projeto, mais fatores devem ser considerados durante o planejamento, isso torna a tomada de decisão mais complexa e a viabilização financeira do projeto precisa ser cuidadosamente planejada. (KOO; HONG; KIM, 2015).

A Construção Civil é um setor amplo que atua em diferentes tipos de obras, que engloba desde de pequeno porte, como construção de casas e pequenas reformas, até obras de grande porte como as voltadas para políticas habitacionais ou envolvendo infraestrutura de cidades como viadutos, pontes, estradas e barragens. (NUNES et al., 2020).

Nunes et al. (2020) afirma que na primeira metade da década passada, o setor teve considerável avanço devido à realização dos eventos esportivos: a Copa do Mundo FIFA em 2014, com jogos em diversas capitais do Brasil; e os Jogos Olímpicos de 2016, com sede no Rio de Janeiro.

Ainda segundo Nunes et al. (2020), nos últimos anos o setor vem sofrendo com a crise que é reflexo da retração econômica brasileira e também mundial. O autor pondera ainda que "o Brasil não se preparou nem no âmbito econômico e nem no setor específico da construção civil para que pudesse ter um desempenho sustentável após o término dos megaeventos, vide os atuais reflexos da crise."

De acordo com Carevetti (2020), até maio de 2020 a indústria da construção civil já havia sofrido uma queda de 2,4% em relação ao ano de 2019. Com o avanço da pandemia, o setor fechou o ano de 2020 com queda de 6,3%, entretanto no ano seguinte foi possível uma retomada com crescimento de 9,1% em 2021. Segundo a (CBIC) (2022) esse dinamismo no setor refletiu diretamente no mercado imobiliário, onde as opções de crédito dada pelos bancos contribuiu para o aumento do PIB.

Nesse cenário de instabilidade econômica e escassez de recursos financeiros - perceptíveis em diversos mercados-, a disponibilidade de recursos para investimentos em projetos de construção foi reduzida. Qin et al. (2020) estuda a dificuldade das empresas na retenção de caixa durante o período da pandemia e deixa visível como muitas delas foram impactadas por esse momento de recessão econômica.

Nesse contexto, muitos empresários do setor tem sofrido para manter os negócios

em curva crescente e em alguns casos fica evidente a necessidade de apoio a tomada de decisão. As opções de financiamento se tornaram cada vez mais atrativas e por isso são consideradas grandes aliadas no enfrentamento de crises.

A realidade das empresas de construção civil compreende diversos problemas relacionados às formas de financiar o empreendimento sem comprometer seu prazo de entrega. É comum ouvir falar de atrasos tanto no setor público como no privado e, na maioria dos casos, os atrasos se devem a dificuldade de cumprir com as obrigações financeiras (NG; ZHANG, 2008).

Como afirma Bozejko, Hejducki e Wodecki (2012), a coordenação de diversos fatores tais como prazos, concorrência ou logística de transporte e armazenamento de materiais, por exemplo, juntamente com capitalização do empreendimento é o grande desafio para as empresas de construção. O setor está inserido em um ambiente dinâmico e seus projetos possuem horizonte de planejamento de médio e longo prazo.

Em se tratando de obras públicas, ocorrem casos onde os concorrentes das licitações passam informações não condizentes com a realidade resultando em dificuldades para finalizar a obra. Erros de planejamento afetam a execução de um projeto de forma negativa e é ainda mais grave quando se trata de planejamento financeiro. De um modo geral, atrasos na finalização de projetos leva ao aumento dos custos e de forma análoga a possibilidade de adiantar a entrega pode reduzir também os custos (NG; ZHANG, 2008).

Os acordos financeiros que ocorrem em projetos podem ser feitos de diferentes formas levando em consideração os interesses de ambas as partes. O empreiteiro por exemplo, busca maximizar seus lucros obtendo pagamentos mais altos possíveis de seus clientes e de forma rápida enquanto o cliente comumente tem preferência por fazer um único pagamento após a conclusão do trabalho. Nessa perspectiva é possível afirmar que ambas as partes tem interesse na maximização de seus lucros. Por isso, é possível que os modelos sejam construídos considerando um dos pontos de vista ou ambos. (KLIMEK, 2021)

A integração de análise de fluxos de caixa e a programação de projetos tem recebido pouca atenção na literatura. A maioria dos estudos focam ou na maximização dos lucros e da disponibilidade de caixa ou na análise de recursos e sequenciamento das tarefas. Se tratando de pesquisas que abordam a maximização do valor presente líquido (VPL), elas podem considerar a perspectiva do contratante e/ou do cliente, entretanto o cenário mais comum é a perspectiva do empreiteiro por ser o maior interessado na maximização dos lucros. Nesses cenários, os cronogramas de pagamentos ajudam a determinar a frequência, os montantes e as datas previstas para as entradas no fluxo de caixa e portanto, uma análise combinada ao problema de sequenciamento é capaz de oferecer maior embasamento para a tomada de decisão.

Neste sentido, o presente trabalho tem como foco a integração de decisões referentes ao ajuste de fluxo de caixa com decisões relativas ao sequenciamento de projetos com limitação de recursos. Ademais, o modelo apresentado considera diferentes opções de financiamento visando a viabilização do projeto.

Kimms (2012) é um dos primeiros autores a discutir a utilização de empréstimo como capital para financiar projetos. Em alguns problemas práticos, a estratégia de empréstimos para financiamento do projeto não é apenas uma escolha, mas a única opção para viabilizar. Nesse contexto, o capital é alocado de um período a outro a uma determinada taxa de juros e, quando o fluxo de caixa no período for negativo o capital pode ser emprestado.

A disponibilidade de capital pode então ser vista como uma restrição de recursos, dessa maneira o problema abordado nesta pesquisa envolve o sequenciamento de projetos com restrição de recursos e tem como foco a maximização do Valor Presente Líquido (VPL) ao final do horizonte de planejamento e inclui opções de financiamentos com variações de prazo e custo como fonte de capitalização para os projetos.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é propor uma metodologia para solução do problema integrado de sequenciamento e financiamento de projetos considerando a dinâmica do fluxo de caixa.

1.2 Objetivos Específicos

- Levantar os principais trabalhos, existentes na literatura recente, que incorporem decisões financeiras em gestão de projetos;
- Propor um modelo matemático que integre as decisões operacionais de sequenciamento e disponibilização de recursos por meio de financiamentos;
- Validar o modelo em um conjunto de instâncias de tamanhos variados;
- Fazer um estudo de porte do problema e do modelo proposto;

1.3 Organização do Trabalho

Nos que diz respeito a organização desde trabalho, o mesmo é composto da seguinte forma: o após o presente capítulo onde é apresentado o contexto geral de aplicação do problema e seus objetivos tem-se o Capítulo 2 que traz uma revisão de literatura sobre o *Resource Constrained Project Scheduling Problem*, sobre o *Cash Matching Problem* e sobre combinações entre os dois problemas onde, além de suas definições e problemas clássicos,

foram apresentados alguns trabalhos relevantes a respeito dos temas e uma breve tabela comparativa.

O Capítulo 3 descreve a metodologia científica que conduz a pesquisa, o método de solução e os materiais e ferramentas utilizadas na condução do trabalho. No Capítulo 4, o problema é descrito em detalhes e o modelo matemático apresentado.

Já no Capítulo 5, são apresentados os resultados de testes computacionais e o resultado de uma ilustração do resultado de uma instancia. Por fim, o Capítulo 6 traz conclusões acerca do que foi construído até então e explicita as pretensões em relação aos próximos passos para a pesquisa.

2 Revisão da Literatura

2.1 Sequenciamento de projetos com recursos limitados

Segundo [PMBOK \(2017\)](#), entende-se como projeto um esforço despendido para criação de um serviço, produto ou resultado específico cujo início e término são bem definidos. De um modo geral, projetos envolvem empreendimentos de alto risco com um prazo determinado e uma quantidade pré-definida de recursos para sua execução. Os projetos podem ser divididos em três etapas principais: a coleta dos dados, o planejamento e sequenciamento das atividades e a execução. Sendo a segunda etapa determinante para o bom desempenho do projeto.

Técnicas de sequenciamento são aplicadas com o objetivo de proporcionar uma melhor utilização dos recursos, a dificuldade do problema está relacionada ao fato de que o sequenciamento das atividades deve ocorrer de forma a minimizar a duração do projeto ao mesmo tempo em que os recursos devem ser alocados sem exceder seus limites de quantidade ([VIEIRA, 2010](#)).

As técnicas PERT e CPM são as duas metodologias mais utilizadas na gestão de projetos ([RABENSCHLAG, 2005](#)) e podem ser utilizadas para o planejamento e coordenação de projetos no que se refere a atividades. A PERT (*Program Evaluation and Review Technique* – Técnica de Revisão e Avaliação de Programas) é uma técnica normalmente utilizada nos casos em que a estimativa de duração do projeto não pode ser realizada com um bom nível de confiabilidade sendo necessária a utilização de conceitos estatísticos. Outra técnica é o CPM (*Critical Path Method* – Método do Caminho Crítico) que foi desenvolvido no intuito de auxiliar a programação de construções e manutenção de fábricas.

A etapa de sequenciar as atividades pode ser muito trabalhosa, visto que muitas vezes existem centenas ou até milhares de atividades para serem coordenadas de modo a atender todas as exigências em relação a tempo e custos. Determinar a melhor ordem cronológica das atividades juntamente a alocação de recursos de maneira ótima é problema relevante tratado na literatura como Problema de Sequenciamento de Projetos com Restrição de Recursos (RCPSP, do inglês *Resource Constrained Project Scheduling Problem*).

Ao longo dos anos o problema despertou interesse de diversos pesquisadores que desenvolveram extensões e variações para o problema de sequenciamento sempre com base no problema tradicional de RCPSP. Em sua pesquisa, [Hartmann e Briskorn \(2010\)](#) apresentam uma visão geral dessas variações.

O RCPSP podem ser descrito por um conjunto de atividades que podem ou não possuir precedência, que possuem um tempo de duração e necessidade do uso de recursos, renováveis ou não. Um recurso é dito renovável quando sua capacidade total está disponível em todos os períodos do projeto. Deve-se definir o período em que cada atividade irá iniciar e, uma vez iniciadas, não podem ser interrompidas. O problema é dito determinístico quando todas as informações necessárias para decidir são conhecidas à priori e o objetivo do problema é construir um cronograma que respeite as relações de precedência entre as atividades e as disponibilidades de recursos e que leve à conclusão do projeto o mais cedo possível (HARTMANN; BRISKORN, 2010).

Para a solução dessa classe de problemas, Hartmann e Briskorn (2010) afirmam que já foram utilizadas tanto métodos exatos quanto métodos heurísticos. A formulação clássica do RCPSP pertence à classe NP-Difícil, tal como a maioria de suas variações.

Demeulemeester e Herroelen (1992) apresentaram o modelo 2.1 - 2.4 que é a formulação mais clássica para o problema. A Tabela 1 descreve os componentes do modelo cujo objetivo é minimizar a duração do projeto mediante a restrições de precedência (2.2) e de recursos não renováveis (2.3).

Tabela 1 – Caracterização dos parâmetros e das variáveis do problema abordado por (DEMEULEMEESTER; HERROELEN, 1992)

Símbolo	Descrição	Domínio
Conjuntos		
H	Conjunto de par de atividades (i, j) com relação de precedência	≥ 0
S_t	Conjunto de atividades em andamento no intervalo de tempo $]t - 1, t]$ $S_t = \{i f_i - d_i \geq t \geq f_i\}$	
Parâmetros		
d_i	Tempo de processamento da atividade i	$i = 1, 2, \dots, n$
r_{tk}	Quantidade do recurso k exigido pela atividade i	≥ 0
b_k	Disponibilidade total do recurso $k \geq 0$	
Variáveis		
f_i	Data fim da atividade i	$i = 1, 2, \dots, n$

$$\min f_n \quad (2.1)$$

$$f_j - f_i \geq d_j \quad \forall (i, j) \in H \quad (2.2)$$

$$\sum_{S_t} r_{tk} \leq b_k \quad \forall t = 1, 2, \dots, f_n \quad (2.3)$$

$$k = 1, 2, \dots, K \quad (2.4)$$

A literatura apresenta inúmeros estudos a cerca do RCPSP. Hartmann e Briskorn (2010), Zhou et al. (2013) e, mais recente, Habibi, Barzinpour e Sadjadi (2018) apresentam revisões das diferentes variações e técnicas para abordar o problema. Para citar um exemplo recente, Tao e Dong (2018) propuseram uma metaheurística híbrida para resolver a versão multi-modo do problema. Experimentos computacionais de diferentes tamanhos foram

realizados e comparados com soluções geradas pelo CPLEX, Os resultados mostram as vantagens do modelo e método propostos, principalmente com problemas de grande porte.

2.2 Ajuste de fluxo de caixa

Para que uma empresa se mantenha no mercado do ponto de vista financeiro, é crucial que exista um acompanhamento efetivo e detalhado das entradas e saídas no caixa. A gestão das finanças colabora para o bom planejamento e também para tomada de decisões estratégicas. Ao identificar a quantia e o momento da entrada ou saída ao final de cada período os tomadores de decisão podem observar as oscilações do caixa em relação ao progresso dos projetos (LIU; WANG, 2008).

Como afirma Gitman et al. (1997), os fluxos de caixa das empresas podem ser divididos em três grupos: fluxos operacionais os quais estão diretamente relacionados à venda e produção de bens e serviços, fluxos de investimento que referem-se aos fluxos associados a ativos imobilizado ou sociedade em outra empresa e, por fim, fluxos financeiros que são resultado de financiamentos com capital de terceiros ou próprio. Em suma, as demonstrações de fluxo de caixa apresentam as entradas e saídas do caixa durante um determinado período.

A maioria das empresas precisam lidar com muitos projetos acontecendo simultaneamente, isso faz com que o gerenciamento e principalmente o financiamento dos mesmos seja complicado. Portanto, identificar a quantia e o momento de entradas e saídas individuais ao fim de cada período é uma estratégia interessante para acompanhamento do progresso do projeto e das necessidades (LIU; WANG, 2008).

Segundo Liu e Wang (2008) a preocupação não deve se concentrar apenas nas quantidades de dinheiro mas também no momento em que ocorrem. Esse controle ao fim de cada período permite que os gestores determinem montantes e o *timing* de empréstimos (quando necessários) para resolver possíveis deficit no orçamento. É importante considerar que devido a incidência de juros o dinheiro sofre uma variação durante o tempo. Para Luenberger (1998), o fluxo de caixa deve ser ajustado de forma que as obrigações do futuro conhecido sejam pagas, isso quer dizer que os investimentos em um período devem ser pensados de forma a possibilitar cumprir as obrigações futuras com o retorno do mesmo.

Na formulação clássica do *Cash Matching Problem*, a decisão está em escolher investimentos durante os períodos de planejamento de modo que eles tornem possível cumprir com as obrigações já projetadas além de minimizar o custo da carteira de investimentos. Kocherlakota, Rosenbloom e Shiu (1988) apresentam, em seu trabalho, uma formulação desse problema, os componentes do modelo podem ser visto na Tabela 2 e o mesmo é definido pelas expressões 2.5 - 2.7. Para detalhes do problema ver, por exemplo, Luenberger (1998) e Cornuejols (2007).

Tabela 2 – Caracterização dos parâmetros e das variáveis do problema abordado por (KOCHERLAKOTA; ROSENBLOOM; SHIU, 1988)

Símbolo	Descrição	Domínio
Conjuntos		
J	Conjunto de investimentos j	
T	Conjunto de períodos t	
Parâmetros		
L_t	Pagamento das obrigações no período t	≥ 0
C_{tj}	Fluxo de caixa no tempo t do investimento j	≥ 0
P_j	Preço por unidade do investimento j	≥ 0
Variáveis		
N_j	Quantidade de ativos de investimento j adquiridas	≥ 0

$$\min N_j P_j \quad (2.5)$$

$$\sum_j N_j C_{tj} \geq L_t \quad \forall t \in T \quad (2.6)$$

$$N_j \geq 0 \quad \forall j \in J \quad (2.7)$$

Trabalhos mais recentes consideram as restrições de ajuste de fluxo de caixa em modelos que visam a valoração de portfólios financeiros. Natolski e Werner (2017) propuseram uma metodologia para analisar portfólios mediante a medidas convexas de risco considerando a restrição de ajuste de fluxo de caixa. Já Engsner, Lindensjö e Lindskog (2020) aplicaram a técnica de replicação de portfólio com ajuste de fluxo de caixa no contexto de passivos de seguros.

Com a pandemia causada pelo surto do COVID - 19, a economia mundial foi afetada seriamente e nesse contexto, surgiram artigos com foco em estudar tais cenários e de certa forma auxiliar as empresas no processo de retomada. Qin et al. (2020) apresentaram uma pesquisa em que estudaram o impacto do COVID - 19 nas reservas de caixa de grandes empresas e perceberam um sério impacto que levaria as empresas a maiores riscos em seus negócios. Para validação da modelagem, os autores selecionaram algumas empresas de capital aberto, coletaram os dados relevantes considerando um período determinado.

Como conclusão da pesquisa, os autores entendem que em termos de fluxo de caixa, as empresas devem se manter atentas as variações do fluxo de caixa para que em tempo hábil possam contar com atividades de financiamento e assim obter suporte de caixa em caso de fechamento de negócios ou redução de entrada de caixa. Dessa forma, o controle estrito do custo caixa, especialmente, ajudará as empresas a aliviar a escassez de fluxo de caixa e por fim, as empresas devem expandir adequadamente as fontes de financiamento, avaliando de forma cuidadosa os riscos envolvidos visto que normalmente custo do financiamento é maior do que o custo do capital próprio (QIN et al., 2020).

2.3 Ajuste de Fluxo de Caixa e Sequenciamento de Projetos

No sequenciamento e planejamento de projetos é importante considerar os custos decorrentes dos mesmos. Vários fatores financeiros podem impactar o fluxo de caixa, como taxas de juros, condições de pagamentos e limite de crédito por exemplo, além de exercer influência sobre a quantidade de recursos necessárias. Tudo isso torna relevante a combinação dois tipos de problemas – ajuste de fluxo de caixa e sequenciamento de projetos. Na literatura é possível encontrar modelos que buscam otimizar os custos dos projetos juntamente com formas de aprimorar a utilização dos recursos.

Uma parte considerável dos empreendimentos que falham são por questões financeiras. Como afirma [Luenberger \(1998\)](#), vários fatores financeiros durante a programação do projeto como taxas de juros, condições de pagamentos e limite de crédito afetam não apenas o fluxo de caixa do projeto mas também exercem influência sobre a quantidade de recursos e o tempo de uso dos mesmos. Dessa forma, considerar os objetivos do planejamento bem como o fluxo de caixa possibilita a visualização de um plano de previsão de fluxo de caixa que permite que falhas financeiras sejam evitadas.

Em sua pesquisa, [Klimek \(2019\)](#) trata do problema de agendamento de um projeto com restrição de recursos onde o objetivo é maximizar o fluxo de caixa considerando os descontos relacionados a execução das atividades. Nesse artigo, as entradas de caixas são computadas após o cumprimento das etapas do projeto.

Em termos de técnicas de resolução, os autores apresentam a solução por meio de procedimentos de deslocamento das atividades. Conhecidas como técnicas de justificação, basicamente determinam a data mais cedo de início para as atividades e, por meio de uma adaptação da técnica nomeada pelo autor de justificação por extremos, a justificação à direita inclui atividades com tempo máximo de término subsequentes e as atividades se deslocam de forma que não ocorram atrasos nas datas de conclusão. Dessa forma, [Klimek \(2019\)](#) conseguiram encontrar soluções de qualidade para o problema proposto.

Para construção de modelos de ajuste de fluxo de caixa combinados com sequenciamento é possível utilizar diferentes formas de agendamento dos pagamentos. [Ulusoy, Sivrikaya-Şerifoğlu e Şahin \(2001\)](#) descrevem quatro tipos de modelos de agendamento de pagamento que são muito úteis na prática, são eles: pagamento em parcela única, pagamento em ocorrências de determinados eventos, pagamento em intervalos de tempo iguais e pagamento progressivo. A forma de pagamento mais presente na literatura é o pagamento em parcela única onde todo o pagamento é feito pelo cliente ao dono do empreendimento após o término do projeto.

No modelo de pagamento em ocorrências de evento, os pagamentos são feitos a medida que os eventos determinados ocorrem e a dificuldade está em determinar o valor e o prazo desses pagamentos. Para modelos em que os pagamentos ocorrem em intervalos

de tempo iguais, o valor de pagamento é dividido entre os períodos de duração do projeto sendo o ultimo pagamento agendado para o ultimo período do projeto.

Por fim, o caso de pagamentos progressivos é aplicado em contextos onde o contratante recebe os pagamentos do cliente em intervalos regulares até o fim do projeto no entanto esse valor não é necessariamente predefinido, por exemplo: o contratante pode receber no final de cada mês um pagamento pelo trabalho realizado durante aquele mês multiplicado por uma taxa de lucro acordada entre o cliente e o contratante.([ULUSOY; SIVRIKAYA-ŞERIFOĞLU; ŞAHIN, 2001](#)).

[Liu e Wang \(2008\)](#) propuseram um modelo de definição de modo de execução de projeto com recursos limitados considerando o fluxo de caixa. O modelo integra restrições de recursos e de fluxo de caixa no planejamento dos projetos para atender as necessidades de gerenciamento como limites de crédito e recursos buscando a maximização do valor presente líquido. Algumas características do modelo são o fato da decisão estar em torno do fluxo de caixa acumulado, os recursos serem decorrentes de pagamentos por atividades e a definição de um limite de crédito máximo.

Os autores deram sequencia ao trabalho e na pesquisa de [Liu e Wang \(2010\)](#) é apresentado um modelo de fluxo de caixa e sequenciamento multi projeto com foco na otimização do lucro. A proposta do modelo é identificar o momento em que ocorrem as entradas e saídas de caixa, bem como a quantidade em cada momento. O trabalho reafirma que se trata de uma realidade que várias empresas precisam lidar por atuarem em mais de um projeto simultaneamente tornando importante o aprimoramento de estudos nessa área.

Segundo [Liu e Wang \(2010\)](#) a preocupação não deve se concentrar apenas na quantidade de fluxo de caixa mas o momento em que ocorre é um fator crítico para o gerenciamento eficaz do orçamento durante a execução dos projetos. Identificando esses fatores, os gestores do projeto podem programar por exemplo o momento para solicitar financiamentos de forma a amenizar os conflitos financeiros como excedentes orçamentários.

No que diz respeito as técnicas utilizadas para resolução do modelo, [Liu e Wang \(2010\)](#) utilizaram um procedimento iterativo baseado em Programação por Restrições (CP, do inglês *Constraint Programming*) onde a função objetivo é tratada como uma restrição do problema e os limites superiores e inferiores vão sendo substituídos a cada iteração por um valor melhor encontrado e segundo os autores, o algoritmo gera e garante uma solução ótima para o objetivo.

Para validar o modelo, os mesmos utilizaram três projetos hipotéticos como instância e realizaram os testes. Os cenários incorporavam questões envolvendo possíveis restrições práticas como data de vencimento e limite de crédito. Dessa forma, a capacidade do modelo foi testada e foi confirmada pelo fato de ter trazido folgas para o cronograma financeiro por meio da alocação das atividades no tempo sem que gerasse atrasos na entrega do

projeto. (LIU; WANG, 2010).

Outro trabalho que vale ser citado como referência é o de Jiang, Issa e Malek (2011), onde os autores desenvolvem um modelo de planejamento de fluxo de caixa com múltiplos objetivos e com otimização de Pareto. Trata-se de um tipo de modelo de otimização que considera produtos bancários, restrições de crédito e de orçamento e ainda a retenção de dinheiro.

Sobre a metodologia utilizada pelos autores, no modelo eles assumem uma previsão de fluxo de caixa empregando taxas de juros compostos em cada período. É definido um horizonte de planejamento e a função objetivo. Mesmo tendo uma natureza determinística, as análises de sensibilidade sobre o modelo permitem extrair informações sobre as incertezas e variações entre os dados de entrada. Trata-se de um modelo multiobjetivo que são: maximizar o saldo do caixa ao final do projeto e minimizar o custo total. (JIANG; ISSA; MALEK, 2011).

Para validação do modelo, Jiang, Issa e Malek (2011) utilizaram como instância dois projetos de pequena escala porém reais sendo Caso A e Caso B e tais instâncias se diferem apenas no capital inicial para o projeto. Segundo os mesmos, ao comparar com modelos de planejamento de fluxo de caixa já existentes o estudo de caso construído por eles prova que o modelo pode fornecer ao gestor do projeto soluções ideais para o problema, levando de fato a maximização do saldo de caixa final e ainda fornecer uma previsão razoável para um bom gerenciamento do fluxo de caixa controlando bem as entradas e saídas.

Jiang, Issa e Malek (2011) reforçam que utilizando o modelo proposto por eles é possível ter um melhor acompanhamento das entradas e saídas de caixa tendo uma melhor visualização para o gerenciamento e, apesar de supostamente apresentar uma natureza determinística, é possível construir uma análise sobre incertezas. Entretanto, os próprios autores ressaltam que há um aumento da carga computacional à medida que a grandeza dos cenários aumenta.

Alavipour e Arditi (2018) desenvolveu uma pesquisa interessante onde o foco é selecionar as melhores alternativas de investimento dentre as opções que são oferecidas pelas instituições financeiras. Dessa forma, eles apresentam um modelo que tem por objetivo minimizar os custos provenientes de financiamentos considerando todas as alternativas e um cronograma de atividades a serem executadas. Para construção do problema os autores fizeram uso do Método do Caminho Crítico - (CPM), que auxilia nas questões relacionadas ao sequenciamento.

O método de Alavipour e Arditi (2018) segue a seguinte lógica: o CPM calcula as precedências e define as datas mais cedo de início e mais tarde de fim das atividades, esses dados são repassados ao algoritmo que lê os dados do CPM e na etapa seguinte calcula os

momento de início e término das atividades.

Santos (2018) propôs uma melhor forma de selecionar títulos de investimentos no intuito de viabilizar financeiramente os projetos com o objetivo de maximizar o valor presente líquido, o que faz de seu modelo uma ferramenta para auxiliar empresas na formação de sua carteira e possivelmente evitar atrasos e falhas relacionados ao orçamento.

Em seu modelo, vê-se a combinação destes dois tipos de problemas: ajuste de fluxo de caixa e sequenciamento de projetos com limitação de recursos, a associação dos mesmos estabelece uma relação entre o nível operacional representado pelo sequenciamento dos projetos e o nível estratégico pela definição do orçamento. O fluxo de decisão formado se embasa no retorno que determinado investimento pode prover e, apoiado nessa informação, tem-se uma maior flexibilidade em relação ao orçamento sendo possível conhecer e decidir quando obter o retorno referente ao empreendimento.

Um artigo que segue a mesma linha de raciocínio do modelo descrito acima é o trabalho de Martins (2017) onde também o autor julga extremamente importância considerar estratégias de empréstimo para apoiar os custos do projeto. De forma geral, em situações reais os empréstimos não são apenas uma opção mas sim a única forma de financiar o início do projeto e por isso uma estratégia de empréstimo eficiente é crucial para que o mesmo tenha sucesso financeiro. Considerando um capital inicial disponibilizado pelo proprietário do projeto para compor o fluxo de caixa juntamente com as entradas durante a execução do projeto que são provenientes das atividades já concluídas, os autores presumem que ao final do horizonte de planejamento esses empréstimos tenham sido amortizados.

Grande parte dos problemas desse tipo tem como objetivo a maximização do VPL de todos os fluxos de caixa ajustando o valor em um único momento do tempo, geralmente no tempo 0. Porém, essa forma de contabilizar não reflete o fluxo do capital real retornado pelo projeto ao final do horizonte de planejamento que é justamente o que a proposta de abordagem que Martins (2017) apresenta. Entre as diferenças de abordagem podem ser citadas o fato de considerar empréstimos sobrepostos, com vencimentos diversos e que cubram os custos financeiros de realização das atividades e existe um limite de endividamento máximo em cada período. Outro ponto é que apesar das tarefas consumirem recursos financeiros para serem concluídas, ao final do processo elas passam a gerar lucro realimentando o fluxo financeiro e contribuindo com o aumento do fluxo de caixa.

As atividades não devem obrigatoriamente ser realizadas sendo opção do próprio modelo definir até que ponto do projeto será executado até o final do horizonte de planejamento. Dessa forma, o processo de decisão contempla duas situações: i) se o projeto é iniciado muito cedo é possível que fique sem caixa enquanto que se os lançamentos ocorrerem tarde demais o lucro pode ser menor. O problema envolve então um processo de decisão a nível de momentos de início das atividades respeitando sempre as restrições

de precedência e maximizando os lucros financeiros ao final. (MARTINS, 2017).

Partindo para descrição do problema, Martins (2017) utilizam uma sequencia de períodos de tempos discretos e a intenção é planejar os fluxos de caixa e a execução do projeto ao longo do horizonte de tempo. O projeto é composto por uma série de atividades que possuem uma lista de atividades precedentes. Como já mencionado, as atividades não são forçadas a serem executadas o que permite ao modelo selecionar fazer apenas as que realmente otimizam o resultado final.

Em paralelo existe um fluxo de caixa que interage em cada período com o processo de programação do projeto. Ele começa com um fluxo de caixa entrada liberado pelo proprietário do projeto e todos os fluxos de caixa são mantidos no sistema sendo reinvestidos ao logo do período seguinte. Além disso, um empréstimo pode ser concedido a qualquer momento durante o projeto e todos os pagamentos devem ser cumpridos até o final do horizonte de planejamento. Cada período possui um limite máximo de endividamento que auxilia no controle dos empréstimos solicitados. O objetivo do trabalho é maximizar os fluxos de caixa ao final do horizonte de planejamento. Os componentes do modelo são melhor descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos parâmetros e das variáveis do problema abordado por (MARTINS, 2017)

Símbolo	Descrição	Domínio
Conjuntos		
A	Conjunto de atividades no projeto.	$a \in A$
P_i	Lista de atividades precedentes da atividade i .	$i \in A$
M_i	Lista de modos de execução das atividades.	$i \in A$
T	Conjunto de períodos do horizonte de planejamento.	$t \in T$
T_{im}	Intervalo de tempo para iniciar a execução da atividade i quando realizada no modo m .	$i \in A, m \in M_i$
L	Conjunto de tipos de empréstimos.	
Parâmetros		
ic_0	Capital inicial fornecido pelo proprietário do projeto ou cliente antes do período 1	
ud	Limite superior para toda a dívida em cada período	
$ir_t l$	Taxa de juros por período para o empréstimo do tipo l com início no período $t = 1, \dots, (tm - mll)$	$l \in L$
ml_l	Vencimento dos empréstimos do tipo l	$l \in L$
if_i	Fluxo de caixa gerado pela atividade i após a conclusão	$i \in A$
da_{im}	Duração (em períodos) da atividade i no modo m	$i \in A, m \in M_i$
ca_{im}	Custo total para executar a atividade i no modo m , $i \in A, m \in M_i$	$i \in A, m \in M_i$
Variáveis		
f_t	Fluxo de caixa no final do período t .	$f_t \geq 0$
x_{tl}	Capital emprestado no período t para um empréstimo com vencimento de tipo l , $t = 1, \dots, (tm - mll)$.	$l \in L$
y_{imt}	1 se a atividade começa a ser executada no período t , sendo realizada no modo m	
0 caso contrário.	$y_{imt} = 0, 1$	
$y_{i0(tm+1)}$	1 se a atividade i não for executada dentro de T	
0 caso contrário	$y_{i0(tm+1)} = 0, 1$	

A função objetivo é dada pela equação 2.8 e as restrições que compõem o modelo são descritas pelas equações 2.12 - 2.13.

$$\max f_{tm} \quad (2.8)$$

$$\sum_{m \in M_j} \sum_{t \in T_{jm}} y_{imt} + y_{i0(tm+1)} = 1, \quad \forall i \in A \quad (2.9)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{q=\max[1, t-ml+1]}^{\min[t, tm-ml]} \frac{q-1+m_l}{ml} x_{ql} \leq ud \quad \forall t = 1, \dots, \max_{l \in L} tm - ml \quad (2.10)$$

$$ic_0 + \sum_{l \in L} x_{1l} = \sum_{i \in A} \sum_{m \in M_i} \frac{ca_{im}}{da_{im}} y_{im1} + f_1 \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \sum_{m \in M_j} \sum_{t \in T_{jm}} (t + da_{jm}) y_{jmt} + (tm + 1) y_{j0(tm+1)} &\leq \\ \sum_{m \in M_j} \sum_{t \in T_{jm}} t y_{imt} + (tm + 1) y_{i0(tm+1)}, \quad \forall i \in A, j \in P_i &\quad (2.12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{t-1} \sum_{i \in A} \sum_{m \in M_i} \sum_{q \in T_{im}} (if_i y_{imq}) + \sum_{\substack{l \in L \\ t \leq tm-ml}} x_{tl} = \\ f_t + \sum_{i \in A} \sum_{m \in M_i} \sum_{q \in T_{im}} \left(\frac{ca_{im}}{da_{im}} y_{imq} \right) + \\ + \sum_{l \in L} \sum_{q=\max[1, t-ml_t]} \gamma_{qlmt} x_{ql} \quad (2.13) \end{aligned}$$

$$\text{onde } \gamma_{qlmt} = \frac{1+ir_{ql}(q-t+ml_t+1)}{ml_t}.$$

Para validação do modelo proposto, [Martins \(2017\)](#) usou uma instancia fictícia geral e a implementação foi feita pelo software CPLEX 11.2 com as configurações padrão que utiliza a melhor regra para seleção da variável. Os tempos foram relatados em segundos e cada atividade da instancia representa todos os procedimentos de pré-processamento antes de iniciar a produção do produto.

O objetivo então é determinar quais atividades devem ser executadas dentro do período de 30 meses fornecendo ainda as datas de início para cada atividade. Após obter os resultados com essa primeira instancia, [Martins \(2017\)](#) simulou alguns cenários alternativos que tentassem prever as situações enfrentadas pelos tomadores de decisão, dentre as adaptações feitas estão diferentes durações para o horizonte de planejamento, diferentes taxas de juros para cada tipo de empréstimo e como o valor ótimo reage ao número de atividades executadas e seus modos.

Outros aspectos também podem ser considerados na construção desse tipo de problema como por exemplo diferentes formas de pagamentos já citadas por [Ulusoy, Sivrikaya-Şerifoğlu e Şahin \(2001\)](#), diferentes estratégias de retorno das atividades como

lucros crescentes ao longo do horizonte ou lucros com tendências regulares ao longo da vida. É possível considerar que as atividades não são independentes e que uma vez concluídas elas interferem nas outras, além da possibilidade de incorporar comportamentos estocásticos. Sem dúvidas, a principal diferenciação desse modelo para os demais presentes na literatura são o fato de não obrigatoriedade de execução das atividades, presença de uma sequência de empréstimos sobrepostos e o reinvestimento do fluxo de caixa gerado em períodos subsequentes. (MARTINS, 2017).

Outra pesquisa que remete ao contexto deste trabalho é a de Kudratova et al. (2020). Nela é discutido um modelo de otimização cujo objetivo é fazer uma estimativa do valor presente líquido dos possíveis investimentos corporativos considerando uma medida quantitativa que traga sustentabilidade. Sendo assim, modelo apresenta uma seleção convencional de projetos a partir de uma estimativa de VPL e sustentabilidade visto que atualmente os investidores são direcionados a construir carteiras de investimento que contemple essas ações.

Com o objetivo de obter o máximo de retorno no investimento, a abordagem dos autores garante retornos positivos para um projeto, no entanto, é necessário o pagamento de um custo adicional para sustentabilidade do fundo. Dessa forma, eles apresentaram de forma prática como a incorporação de sustentabilidade influencia significativamente na maximização da função objetivo. (KUDRATOVA et al., 2020)

Klimek (2021) também publicou sua pesquisa que também propõem a otimização financeira de projetos com recursos limitados. O modelo proposto trata da liquidação dos pagamentos por etapas considerando o otimização na perspectiva do contratante, incorporando possíveis acordos financeiros entre o cliente e contratante. Apesar disso, o autor ignora possíveis atrasos na construção de seu modelo, ou seja, todos os pagamentos são computados conforme previsto.

Pelo fato do problema RCPSPP ser considerado um problema fortemente NP-Difícil, assim como outras referências, Klimek (2021) utiliza heurísticas para que soluções viáveis sejam encontradas em tempo aceitável, ainda que em projetos maiores. Sendo assim, a heurística implementada foi o *Simulated Annealing Algorithm* - Algoritmo de Recozimento Simulado, explorando o espaço de soluções em busca de vizinhos melhores, mas caso esteja preso em um ótimo local, ele aceita um vizinho pior para que seja possível dar continuidade na busca. A solução é apresentada em forma de lista de atividades organizadas conforme um cronograma executável.

De forma resumida, as seguintes restrições foram encontradas nos trabalhos descritos nessa seção:

R1: Precedência - É comum que as atividades tenham dependência entre elas, ou seja, uma só pode ser executada quando uma outra for finalizado. Desse modo, a restrição de

precedência garante que essa dependência seja respeitada no momento de sequenciar as atividades.

- R2:** Recursos - Alguns recursos são necessários para executar o projeto, eles podem ser renováveis ou não. Nos trabalhos apresentados nessa sessão a restrição de recursos se apresentou de forma a garantir que a utilização dos recursos respeitasse o limite de recursos disponibilizado para o projeto.
- R3:** Atividades - A restrição de atividade serve para sinalizar se tal atividade já foi ou não executada e em qual período, garantindo que todas elas sejam concluídas ou para os casos que não for determinado a execução de todas, que seja possível avaliar qual delas foi executada.
- R4:** Data limite para o projeto - Restrição que define o horizonte de planejamento do projeto e garante que todas as iterações obrigatórias ocorram dentro desse prazo.
- R5:** Data mais cedo e data mais tarde das atividades - Respeitando a precedência das atividades, a duração de cada uma delas e o horizonte de planejamento, tal restrição contribui definindo qual a data mais cedo que uma atividade pode ser iniciada e qual a data mais tarde que ela pode finalizar, permitindo que o modelo aloque as mesmas dentro dessas datas sem que os prazos sejam prejudicados.
- R6:** Retorno de investimento - Restrição que calcula a proporção entre o que foi investido e o que foi obtido como retorno.
- R7:** Fluxo de caixa no período - Restrição que calcula a movimentação financeira em cada um dos períodos, contabilizando as entradas e saídas de fluxo de caixa junto ao valor resultante do último período.
- R8:** Pagamento das atividades com retorno - Restrição que calcula o retorno financeiro proveniente das atividades que possuem essa característica. Esse valor é calculado assim que a atividade é concluída e passa a gerar retornos.
- R9:** Limite de crédito - Para manter o risco do empreendimento controlado, alguns modelos limitam um valor teto para os financiamentos. Essa restrição então garante que os valores tomados não ultrapassem o limite estipulado, podendo ser esse limite por período ou para o projeto como um todo.
- R10:** Garantia de quitação da dívida - Para os modelos que permitem opções de crédito e financiamento, muitos autores inserem uma restrição que garante que a dívida feita durante o projeto seja quitada ainda dentro do horizonte de planejamento.
- R11:** Limite de juros ou amortização por período - Para viabilização financeira e manutenção de um fluxo de caixa saudável, alguns autores incluem essa restrição para garantir

que apenas parte do fluxo em determinado período seja destinado ao pagamento da dívida.

- R12:** Custos - Todo projeto envolvem custos que podem ser fixos ou variáveis, para ter um calculo de fluxo de caixa é necessário uma restrição que calcule todos os custos envolvidos, podendo ser por período ou ao longo do projeto além de que em alguns casos os autores podem ainda optar por limitar os custos.
- R13:** Limite capital retido pelo proprietário por período - Em alguns modelos os autores incluíram essa restrição que limita as retiradas do fluxo de caixa por parte do proprietário do projeto, isso é uma forma de garantir um fluxo de caixa mais saudável para o projeto.

O Quadro 2.1 apresenta uma comparação simplificada entre os trabalhos a partir das restrições incorporadas no problema. Ademais, o Quadro 2.2 apresenta uma comparação dos mesmos trabalhos em termos de objetivos e tipos de decisões.

Quadro 2.1 – Restrições utilizadas nos trabalhos citados

Artigos	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
Kocherlakota, Rosenbloom e Shiu (1988)			✓				✓						
Demeulemeester e Herroelen (1992)	✓	✓	✓										
Liu e Wang (2008)	✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓		✓	
Liu e Wang (2010)	✓	✓	✓	✓	✓		✓					✓	
Jiang, Issa e Malek (2011)			✓				✓		✓	✓			✓
Martins (2017)	✓						✓	✓	✓	✓	✓		
Santos (2018)	✓	✓	✓			✓				✓			
Tao e Dong (2018)		✓		✓			✓						
Alavipour e Arditi (2019)			✓				✓		✓	✓	✓	✓	
Kudratova et al. (2020)	✓	✓	✓	✓								✓	
Qin et al. (2020)						✓	✓		✓	✓		✓	
Klimek (2021)	✓	✓	✓		✓		✓	✓				✓	
Presente trabalho	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	

A modelo proposto nessa pesquisa se assemelha mais aos modelos apresentados por Santos (2018) e Martins (2017) trazendo a integração dos problemas de sequenciamento de atividades e fluxo de caixa, entretanto se difere deles por alguns pontos. O trabalho de Santos (2018) apesar de obrigar que todas as atividades sejam executadas, o mesmo não apresenta o financiamento como uma opção viável para viabilização do projeto e portanto, a decisão de tomar ou não empréstimos não faz parte da lógica do modelo proposto em 2018. Dessa maneira, restrições de limite de crédito e questões de amortização são a principal diferenciação.

Sobre o modelo apresentado por Martins (2017), apesar de as restrições relacionadas a possibilidade de financiamento não serem tão complexas como o modelo atual, a principal diferença está em relação à não obrigatoriedade de executar todas as tarefas. O modelo tem a possibilidade de escolher executar ou não uma tarefa de modo a garantir a maximização dos retornos. Sendo assim, a decisão gira em torno de quando tomar empréstimos mas principalmente sobre quais tarefas serão executadas dentro do horizonte de planejamento.

Quadro 2.2 – Objetivos e decisões consideradas nos trabalhos citados

Artigos	Objetivos	Decisões
Kocherlakota, Rosenbloom e Shiu (1988)	Minimizar custo total	Encontrar a carteira de títulos que paguem o passivo projetado
Demeulemeester e Herroelen (1992)	Minimizar a duração do projeto	Qual o melhor momento para iniciar as atividades
Liu e Wang (2008)	Maximização do fluxo de caixa líquido	Quais recursos empregar em cada atividade
Liu e Wang (2010)	Maximizar lucro dos projetos	Quais projetos executar em cada período
Jiang, Issa e Malek (2011)	Maximizar fluxo de caixa final e Minimizar o custo total	Definir o horizonte de planejamento considerando empréstimos a longo e curto prazo
Martins (2017)	Maximizar fluxo de caixa no ultimo período	Determinar quais atividades serão executadas e assim quais produtos podem ser produzidos
Santos (2018)	Maximizar Valor Presente Líquido	Em qual momento investir e em quais projetos
Tao e Dong (2018)	Minimizar makespan e custo total	Determinar quais atividades devem ser executadas, quando e em qual modo
Alavipour e Arditi (2019)	Minimizar custos relacionados a financiamento	Em qual período financiar e qual tipo de financiamento escolher
Kudratova et al. (2020)	Maximizar Valor Presente Líquido considerando medida de sustentabilidade	Determinar quais projetos serão executados
Qin et al. (2020)	Calcular impacto da pandemia	Necessidade ou não de financiamentos para sustentar o fluxo de caixa
Klimek (2021)	Minimizar Makespan e Maximizar o fluxo de caixa do empreiteiro	Quando as atividades serão executadas
Presente trabalho	Maximizar VPL	Quando executar cada tarefa e quando tomar empréstimos para viabilização financeira do projeto.

um pouco quando incorporamos os financiamentos como possibilidade de viabilização dos projetos porém todas as atividades devem obrigatoriamente ser executadas

A incorporação das mudanças consideradas relevantes se justifica entendendo algumas definições. É necessário considerar que as decisões de financiamento e investimento são distintas para garantir assertividade na tomada de decisão. Em finanças, um conceito bastante difundido é do Teorema da Separação no qual afirma-se que “o sucesso ou insucesso do projeto deve ser determinado considerando unicamente seu próprio potencial de geração de renda econômica, independentemente do modo como será financiado.” (SAMANEZ, 2009, p. 96). Dessa forma, os conceitos de Viabilidade Econômica e Viabilidade Financeira devem ser compreendidos de forma separada pois tratam de análises distintas.

A viabilidade econômica é a análise do custo benefício de um empreendimento, garantindo que os projetos escolhidos sejam rentáveis considerando até mesmo o custo de

oportunidade. Assim, identifica a capacidade de produção de receita desconsiderando as transações financeiras que podem ocorrer durante o projeto (ROSÁRIO, 2014). Em contrapartida, o estudo da viabilidade financeira está relacionado a estimativa do custo total para execução do projeto. Como afirma Eick et al. (2010), se a decisão de investir ou não se basear nos recursos, ou seja, na disponibilidade dos mesmos e com objetivo de obter um equilíbrio entre entradas e saídas incorporando o fluxo de caixa, trata-se de viabilidade financeira.

O estudo de viabilidade econômica e financeira identifica os benefícios esperados em determinados investimentos a fim de tomar conhecimento da viabilidade de sua implementação. A partir desses pontos pode-se concluir que um projeto é viável econômica e financeiramente quando o fluxo de caixa é positivo além do investidor receber um retorno do capital superior ao despendido.

De acordo com Hirschfeld (2000), uma forma convencional de análise de viabilidade financeira é utilizar o método do valor presente líquido, ou seja, se o $VPL > 0$ entende-se que o projeto é viável financeiramente. Neste sentido, o modelo proposto na presente pesquisa se apresenta como uma alternativa para garantir a viabilidade de projetos com o objetivo de maximizar o VLP por meio da seleção de financiamentos que viabilizem o empreendimento.

Muitos trabalhos utilizam o VPL como ajustador dos fluxos de caixa justamente por considerar o valor do dinheiro no tempo. Na perspectiva de investimentos, tal análise se torna crucial quando o objetivo é a maximização. Diferente da pesquisa de Martins (2017) em que é possível escolher quais atividade executar, nessa pesquisa todas precisam ser concluídas ao final do horizonte de pagamento e isso é um fator que pode penalizar o VPL, visto que nem sempre o retorno da atividade após concluída compensa o custo de sua excussão de modo a otimizar a função objetivo.

O modelo proposto então visa incorporar todos esses contextos para tornar o modelo mais aderente às necessidades reais das corporações.

3 Materiais e Métodos

A metodologia científica pode ser compreendida como uma sucessão de passos que devidamente alinhados possibilitam a interpretação de um fato ou fenômeno. Adotar uma metodologia significa escolher um caminho, ou seja, é a definição de uma linha de raciocínio que envolve métodos e instrumentos diversos com objetivo de dirigir-se à obtenção dos resultados desejados (SILVA; MENEZES, 2005). O presente trabalho possui objetivo de caráter normativo visando otimizar estudos e resultados que já existem na literatura, conforme definição de Morabito e Pureza (2010).

De acordo com Morabito e Pureza (2010), as pesquisas em gestão da produção e operações permitem que sejam construídos modelos que se aproximem do desempenho de processos e situações reais, o que vai de encontro aos objetivos desta pesquisa cujo objetivo é demonstrar o ambiente de sequenciamento de projetos ou seleção de opções de financiamento de forma matemática. Portanto, no que tange a abordagem, pode-se classificar a presente pesquisa como sendo quantitativa, isso porque trata-se da geração de conhecimentos de forma racional.

Os resultados e análises apresentados nesta pesquisa são expressos de forma numérica e precisa e, no geral, as técnicas de análise e interpretação dos resultados é feita de forma dedutiva podendo então receber a tipologia de uma pesquisa quantitativa axiomática (MORABITO; PUREZA, 2010). Ademais, a definição do problema e a proposta de solução não está vinculada a casos específicos ou instâncias reais, a construção se deu a partir da descrição do problema apresentado e discutido na literatura científica. O foco principal está em obter soluções para o método proposto e viabiliza-lo, reforçando a classificação como pesquisa axiomática.

O método a ser utilizado é a modelagem e simulação (MORABITO; PUREZA, 2010) visto que um sistema real foi representado por meio de um modelo matemático e espera-se avaliar o comportamento do mesmo perante as modificações que lhe serão propostas, sendo assim um sistema real, com muitas variáveis foi transformado em um modelo conceitual que posteriormente será transformado em um modelo matemático analítico, sendo os processos do sistema interpretados em forma de funções matemáticas (TURRIONI; MELLO, 2012).

O problema foi estudado a partir de referências que apresentaram soluções para problemas similares inseridos no contexto descrito na introdução deste trabalho. Buscou-se inserir variáveis, parâmetros e restrições considerados mais relevantes para a tomada de decisão obtendo, assim, o modelo matemático.

O problema foi resolvido usando a versão 9.1.2 do *solver* Gurobi por meio de uma

implementação em linguagem Python 3.9 utilizando a API GurobiPy. Para a verificação e validação do modelo por meio da resolução do problema, foi criado um gerador de instancias aleatórias, também construído na linguagem Python.

Todos os cálculos relevantes para a construção das instâncias são feitos diretamente pelo gerador. A qualidade e viabilidade de aplicação do modelo foi então interpretada por meio de algumas métricas como capacidade de encontrar uma solução ótima, tempo de resolução para o problema, GAP e valor da função objetivo resultante.

Testes foram executados utilizando um computador com processador Intel(R) Core(TM) i7-3770 com velocidade CPU de 3.4GHz com 8 GB de RAM com sistema operacional Ubuntu 20.04.

4 Descrição do Problema

Nesse capítulo o problema é descrito de forma detalhada e as principais premissas são apresentadas. Considerando a literatura investigadas, a modelagem buscou incorporar as seguintes características:

- Todas as tarefas devem ser executadas e finalizadas dentro do horizonte de planejamento.
- As relações de precedências entre as atividades devem ser respeitadas.
- Existência de custo fixo e variável de execução de cada atividade.
- Os pagamentos são feitos após a ocorrência de eventos, i.e., término de determinadas atividades.
- O dinheiro em caixa é considerado como recurso não renovável e pode ser obtido por meio do capital próprio (investimento inicial), do pagamento pela conclusão de atividades e/ou por meio de financiamentos.
- O dinheiro tem valor no tempo dado pelo custo do capital próprio.
- O processo pode a qualquer momento recorrer a empréstimos de capital para disponibilização de dinheiro desde que não exceda um limite máximo de crédito.
- Os custos de capital de terceiros, obtidos por meio de financiamentos, são diferentes entre si e maiores que o custo do capital próprio.
- Existe a possibilidade de sobrepor os empréstimos caso em determinado período o capital disponível não seja capaz de suprir os custos financeiros.
- A pagamento mínimo de cada financiamento deve respeitar o valor financiado, o prazo de contratação e o custo de capital e é definido por meio da Tabela Price.
- Toda a dívida resultante dos empréstimos feitos deve ter sido quitada até a conclusão do projeto.

O processo de decisão consiste em definir o momento em que cada atividade começa a ser executada, como contratar financiamentos (quando, qual e quanto) e como amortizar a dívida (quando, qual e quanto). As decisões de sequenciamento de atividades impactam no custo e no retorno do projeto, i.e., nas entradas e saídas do fluxo de caixa. Portanto, o sequenciamento deve respeitar a disponibilidade de recurso mas também interfere na

mesma. Da mesma forma, as decisões financeiras (pagamento e contratação de empréstimos) interferem tanto na disponibilidade de recursos, quanto nos custos do projeto.

Considerando então uma determinada sequência de períodos, a intenção é que à medida que as atividades/projetos sejam ordenados um fluxo de caixa vai se formando e sendo planejado ao longo do horizonte de tempo. Dessa forma, temos no modelo um conjunto de atividades J que devem ser executadas e sequenciadas. Para cada atividade do conjunto J^a , pode ou não haver antecessoras e predecessoras com respectivos conjuntos discriminados na formulação matemática. Por fim, como já mencionado, o modelo considera a existências de atividades remuneradas descritas pelo conjunto J_b , que são aquelas que ao final de sua execução incrementam o fluxo de caixa positivamente.

No problema construído, concebemos que existe um horizonte de planejamento pré-definido, ou seja, temos data para início e conclusão do planejamento. Tal horizonte é dividido em períodos que fazem parte do conjunto descrito como T , sendo o início e termino de cada atividade demarcado por períodos. Por consonância, a duração de cada atividade/projeto também é dada nessa grandeza e é descrita pelo parâmetro d_j .

Sabemos que o mercado financeiro oferece diversos produtos, e entre os próprios financiamentos encontramos diversas variações. Para trazer isso ao modelo, foi considerado também um conjunto de financiamentos descritos por F . Concorrendo em paralelo, o horizonte de planejamento e por consequência o fluxo de caixa se iniciam com a entrada de um capital inicial próprio que trazendo para um contexto real, seria o investimento inicial que o proprietário ou empreiteiro tem à dispor. Esse investimento se denota por I_0 .

Seguindo pelo viés financeiro do problema, o valor de retorno de cada atividade remunerada é dado pelo parâmetro V_j bem como a custo de execução de cada uma delas dado por k^f_j , no contexto ainda consta um custo fixo, fix , por período que se justifica pelo fato de que, seja qual for o empreendimento, a infraestrutura necessária deve atender turando todo o horizonte.

Considerando que todo valor emprestado por agentes financeiros tem a incidência de juros, o problema também incorpora tais taxas, i_f , levando em conta os diferentes tipos de financiamento. Do ponto de vista de viabilidade financeira, também não é interessante que os valores emprestados sejam tomados a esmo e por isso, existe um parâmetro que limita a quantidade de capital emprestado denotado por E_f^{max} e visto que ele deve ser integralmente pago dentro do horizonte de planejamento previsto é sinalizado o prazo restante para cumprimento de tais obrigações, n_{ft} e o ultimo período para que tal ocorra t_{max} .

Com base em todas as referências trabalhadas, assume-se ainda, que alguns fatores importantes porém variáveis podem vir a incorrer e são importantes para as interações do modelo. Considera-se uma variável descrita como S_t que vai "trazer" para o período atual o

valor que havia no fluxo de caixa no período anterior. Para que todas as movimentações financeiras sejam incorporadas temos as variáveis x_{jt} que sinaliza se a atividade foi ou não executada em determinado período, e_{ft} simbolizando a quantidade monetária financiada no período, A_{ft} indicando a quantidade amortizada no período e por conseguinte a dívida total restante a ser quitada integralmente nos próximos períodos, D_{ft} .

Em síntese, o sequenciamento das atividades/projetos é influenciado pelas interações financeiras que ocorrem durante o processo, estabelecendo o fluxo de caixa. O fluxo se inicia com um determinado capital que pode ou não ser capaz de garantir a execução de todas as atividades e caso não seja, empréstimos são tomados para viabilizar o cumprimento de modo que a dívida assumida seja integralmente paga ao fim do horizonte. Em paralelo ao descrito, no fluxo de caixa ainda incidem custos positivos provenientes das atividades remuneradas e descontos do custo de execução das mesmas. Como objetivo, temos a intenção de maximizar o lucro ao final considerando os custos operacionais, econômicos e financeiros.

4.1 Formulação Matemática

O modelo é formulado por meio de Programação Linear Inteira Mista, onde algumas variáveis do problema devem pertencer ao conjunto de número inteiros. Assim como feito por Santos (2018), são pontuadas datas de início mais cedo das atividades a fim tentar reduzir o tempo de intervalo de execução delas e também datas de finalização mais tarde. Para o problema descrito, todos os componentes do podem ser melhor vistos na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização dos parâmetros e das variáveis do problema proposto

Símbolo	Descrição	Domínio
Conjuntos		
J	Conjunto de atividades.	$j \in J$
T	Conjunto de períodos.	$t \in T$
F	Conjunto de tipos de financiamento	
J_a^a	Conjunto dos antecessores das atividades j .	$j_a \in J$
J_b	Conjunto das atividades remuneradas.	$j_b \in J$
Parâmetros		
ES_j	Data mais cedo de início da atividade j	$ES_j \in T, \forall j \in J$
LF_j	Data mais tarde de fim da atividade j	$ES_j \in T, \forall j \in J$
d_j	Tempo necessário para realizar a atividade j	$ES_j \in T, \forall j \in J$
k_j^f	Montante necessário para executar a atividade j	$ES_j \in T, \forall j \in J$
V_j	Retorno da atividade j	
i_f	Taxa de juros do empréstimo f	$ES_j \in T, \forall j \in J$
a_{fim}	Índice da atividade terminal do problema	
t_{max}	Ultimo período	$ES_j \in T, \forall j \in J$
I_0	Investimento inicial	
E_f^{max}	Limite de crédito para empréstimos	$ES_j \in T, \forall j \in J$
f_{ix}	custo fixo do projeto por período	≥ 0
n_{ft}	Prazo restante para cumprimento das obrigações	
δ_f	Custo fixo de pegar um empréstimo do tipo f	
$k_j r^p$	Quantidade necessária do recurso renovável do tipo r para realizar a atividade j	
$k_r t^p$	Quantidade disponível do recurso renovável do tipo r no período t	
Variáveis		
S_t	Variável que indica a sobra de recursos não renováveis no tempo t .	≥ 0
x_{jt}	Variável binária que indica o término da atividade j no tempo t	$\in \{0, 1\}$
e_{ft}	Variável que indica a quantidade de empréstimos do tipo f no tempo t	≥ 0
A_{ft}	Variável que indica a quantidade financeira amortizada no tempo t do tipo f	≥ 0
D_{ft}	Variável que indica a dívida total de f no tempo t	≥ 0
z_{ft}	Variável binária que indica se foi tomado um empréstimo do tipo f no período t	
hline		

A formulação do Problema Integrado de Ajuste de Fluxo de Caixa e Sequenciamento de Projeto (PIAFCSP) está descrita através das expressões 4.2 a 4.12, sendo a expressão 4.1 a função objetivo, que é representada pelo valor presente da diferença entre a sobra de recursos e o valor de quitação de todos os financiamentos.

$$\max VPL = \left[S_{t_{max}} - \sum_{f \in F} D_{ft_{max}} \right] FD_{t_{max}} \quad (4.1)$$

As expressões de 4.2 a 4.3 são relacionadas ao fluxo de caixa do problema, considera as sobras de períodos anteriores, custos fixos, valor financeiro tomado por empréstimo, retorno das atividades remuneradas, custo de execução de cada atividade e também os valores amortizados da dívida ao longo do período. A equação 4.4 se refere ao limite de empréstimo e a 4.5 as limitações de recursos renováveis.

$$S_1 + fix - \sum_{f \in F} (\delta_f z_{f1} + e_{f1}) - \sum_j^{J_b} V_j x_{j1} - I_0 + \sum_j^J k_j^f \sum_{q=1}^{d_j} x_{jq} = 0, \quad (4.2)$$

$$S_t + fix \left(1 - \sum_{\substack{q=0: \\ q \in R_j}}^t x_{jfiq}\right) - \sum_{f \in F} (\delta_f z_{ft} + e_{ft}) + A_t - \sum_j^{J_b} V_j x_{jt} - S_{t-1}(1 + i_a) + \sum_j^J k_j^f \sum_{q=t}^{t+d_j-1} x_{jq} = 0, \quad \forall t \in T : t > 1 \quad (4.3)$$

$$e_{ft} - z_{ft} * E_f^{max} \leq 0, \quad \forall t \in T, \forall f \in F \quad (4.4)$$

$$\sum_j^J k_{jr}^p \sum_{q=t}^{t+d_j-1} x_{jq} - k_{rt}^p \leq 0, \quad \forall r \in R, \forall t \in T \quad (4.5)$$

A restrição 4.6 estabelece um limite de crédito e garante que a dívida não ultrapasse esse valor limite. As restrições 4.7 e 4.8 dizem respeito ao fluxo da dívida, a primeira garante que a dívida no primeiro período seja a quantidade financeira emprestada no primeiro período e a segunda o fluxo nos demais períodos, considerando dívidas em períodos anteriores, taxas de juros, quantidade financeira emprestada no período corrente e também a quantidade amortizada.

O limite de amortização é garantido pela expressão 4.9 que estabelece que o valor amortizado não deve ultrapassar a dívida no início período corrente. A restrição 4.10 que garante um pagamento mínimo da parcela do financiamento para que ocorra a amortização segundo uma série uniforme de pagamentos (Tabela Price).

$$D_{ft} - E_f^{max} \leq 0, \quad \forall t \in T, \forall f \in F \quad (4.6)$$

$$D_{f1} - e_{f1} = 0, \quad \forall f \in F \quad (4.7)$$

$$D_{ft} - D_{ft-1} * (1 + i_f) - A_{ft} + e_{ft} = 0 \quad \forall t \in T : t > 1, \forall f \in F \quad (4.8)$$

$$A_{ft} - (1 + i_f)D_{ft-1} \leq 0, \quad \forall t \in T : t > 1, \forall f \in F \quad (4.9)$$

$$A_{ft} - \frac{(1 + i_f)D_{ft-1}i_f(1 + i_f)^{n_{ft}}}{(i_f + 1)^{n_{ft}} - 1} \geq 0, \quad \forall t \in T : t > 1, \forall f \in F \quad (4.10)$$

Por fim, as restrições 4.11 e 4.12 garantem a execução de todas as tarefas previstas e ainda faz com que as precedências entre elas sejam respeitadas.

$$\sum_{t=ES_i+d_i-1}^{LF_i} tx_{it} - \sum_{t=ES_j+d_j-1}^{LF_j} (t - d_j + 1)x_{jt} \leq -1, \quad \forall i \in J_j^a, \forall j \in J \quad (4.11)$$

$$\sum_{t=ES_j+d_j-1}^{LF_j} x_{jt} = 1, \quad \forall j \in J \quad (4.12)$$

O modelo foi construído com base em modelos de referência dos trabalhos apresentados na revisão de literatura e tem como objetivo preencher a lacuna de integração

do problema de escolha de financiamento, ajuste de fluxo de caixa, e sequenciamento de projetos com restrição de recursos.

A fim de uma primeira validação do modelo proposto e testar a estrutura integrada de planejamento financeiro e sequenciamento, foram geradas algumas instâncias aleatórias por meio de um gerador implementado. Essas instancias iniciais foram construídas com um número menor de atividades para que ela pudesse ser ilustrada e também para validar o gerador implementado. Por meio da Tabela 5 é possível visualizar a composição de uma das instância que possui 10 atividades e 2 financiamentos, além das precedências entre as atividades.

Tabela 5 – Instância Básica

Atividades	Duração	Precedência	Custo	Retorno
Atv 0	3	-	18	15,04
Atv 1	3	-	18	15,04
Atv 2	4	-	7	15,04
Atv 3	3	Atv 0	11	15,05
Atv 4	4	Atv 0 e Atv 1	7	15,05
Atv 5	2	Atv 1 e Atv 2	6	15,05
Atv 6	2	Atv 0, Atv 1 e Atv 3	5	16,08
Atv 7	4	Atv 1, Atv 2 e Atv 3	15	28,22
Atv 8	3	Atv 3, Atv 4 e Atv 5	6	95,42
Atv 9	3	Atv 2, Atv 5 e Atv 6	35	132,27

Entre os parâmetros de entrada para a instância, setamos os valores de acordo o estimado pelo gerador de instâncias aleatórias. Sendo assim, ficou estipulado valores para custo fixo em 3, taxa fixada em 2%, máximo de períodos em 36 e por fim o investimento inicial em 154,20. Na Tabela 6 é possível ver o nome de cada uma das opções de financiamento, quais as taxas de juros que vão incidir sobre o valor tomado de empréstimo e por fim o limite máximo de crédito daquela opção de financiamento por período.

Nome	Taxa	Limite Máximo
Fin0	0,000246	17,45
Fin1	0,0004	8,05

Tabela 6 – Tabela descritiva do financiamentos disponíveis

Na Figura 1, é possível ver o gráfico de Gantt obtido para a instância básica. Observa-se que a precedência foi respeitada na construção da solução e que as atividades iniciaram e terminaram dentro do horizonte de planejamento. O uso dos recursos renováveis foi também respeitado. Os resultados obtidos para o fluxo de caixa podem ser observados na Figura 2. Por questões relativas ao espaço disponível, não apresentaremos um detalhamento deste fluxo.

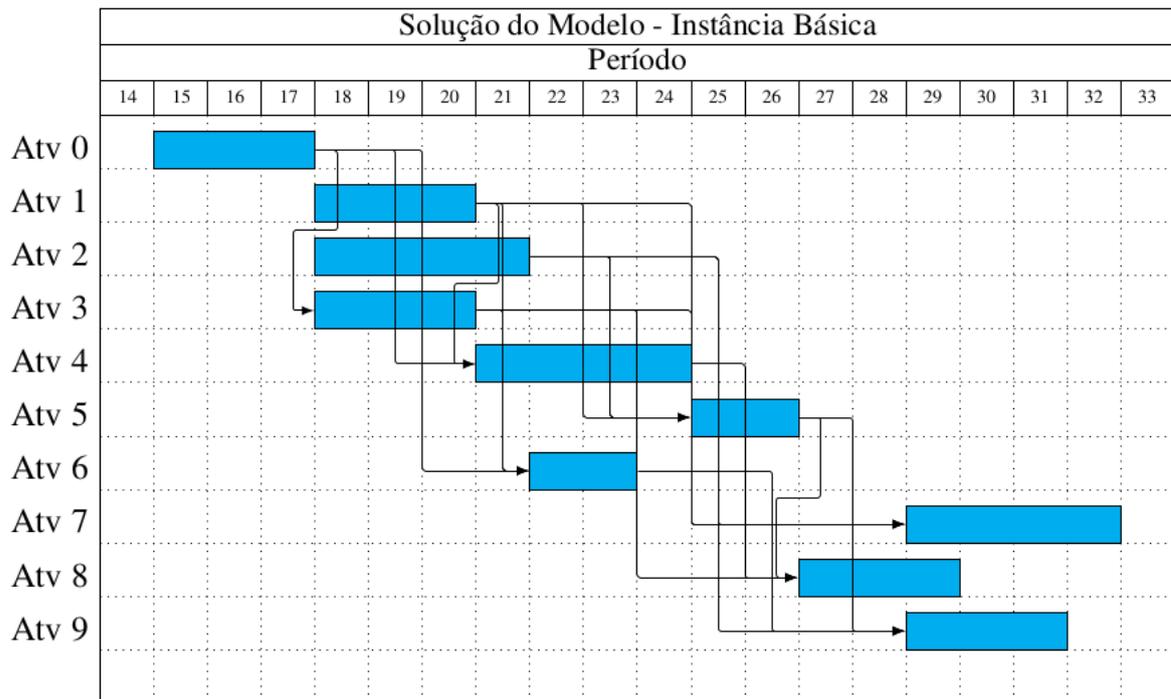


Figura 1 – Gráfico de Gantt - Instância Básica

Em termos de tempo computacional, essa instância demandou apenas 15 segundos para encontrar uma solução ótima viável para o problema. A partir dos resultados encontrados, é possível validar o modelo ao passo em que o mesmo apresenta resultados satisfatórios para o PIAFCSP.

Ao finalizar as iterações ao fim do horizonte de planejamento foi possível ver que a opção de financiamento selecionada foi o *Fin0*, sendo tomado no total 79,96 unidades monetárias de empréstimo resultando em uma dívida total no valor de 220,40. Porém, como a dívida podia ser amortizada em qualquer período, no fim do horizonte o valor de fato empregado em amortização foi de 81,03. Feito toda a movimentação de fluxo de caixa, ao final do horizonte de planejamento o VPL resultante foi de 278,27 unidades monetárias.

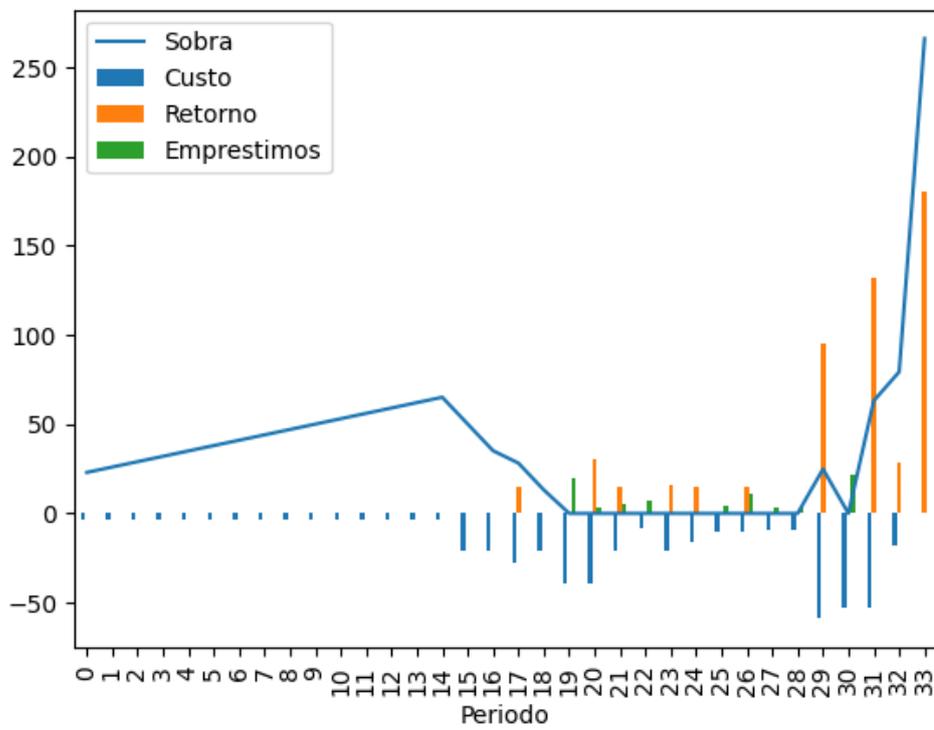


Figura 2 – Fluxo de caixa

5 Resultados

Neste capítulo os resultados de testes computacionais são apresentados e discutidos. Iniciamos pela descrição do procedimento de geração de instâncias aleatórias, a seguir detalhamos o experimento computacional e por fim, apresentamos e discutimos os resultados.

5.1 Gerador de Instâncias

Não foi possível encontrar na literatura levantada instâncias passíveis de serem adaptadas para condução dos testes do modelo proposto. Desta forma, tendo como base as referências que foram utilizadas neste trabalho, a autora optou pela construção de um gerador de instâncias aleatórias no qual foi incorporado características de problemas reais de forma a gerar instâncias aderentes à realidade e que possibilitou grande variação entre os parâmetros do modelo.

O gerador inicia a operação com as definições das classes atividades e financiamentos. A classe de atividades tem que gerar parâmetros de duração para cada uma delas, lista das antecessoras e das precedentes e o custo de execução. Na implementação o gerador define quantas das atividades geram retorno bem como o valor do pagamento propriamente dito.

A classe dos financiamento é responsável pela geração das opções de financiamentos com suas respectivas taxas, o valor máximo de capital disponível para empréstimo e a duração máxima do financiamento.

Para executar o gerador, utilizamos então um arquivo xml no formato descrito pela Anexo 3, onde é possível ajustar os parâmetros que se deseja considerar para o formato das instancias a serem geradas. Por exemplo, alterar a quantidade de atividades previstas de execução, conseguimos limitar a quantidade máxima de predecessores que o problema pode aplicar na instância, alguns fatores relacionados a margem de distribuição dos dados que pode ser usada, a quantidade de atividades com retorno que podem existir e a quantidade de opções de financiamento disponível.

Como saída, o gerador proposto retorna um arquivo xml com todas as atividades e suas características, bem como as informações sobre os financiamentos e todos os demais parâmetros do modelo. No Anexo 4 é possível ver resumidamente como a instância aleatória fica.

Com todas as instâncias geradas dentro do formato de leitura do modelo, bastava agora iniciar os testes. A utilização de instâncias aleatórias, em tese, garante a representatividade dos testes, com alguns refinamentos no gerador, vimos que ele retornou instâncias

satisfatórias para o experimento. Sendo assim, todas foram executadas e partimos para a demonstração dos resultados.

5.2 Condução do experimento

Ao todo foram realizados mais 170 testes. Os parâmetros das instâncias variaram em 4 dimensões: grupos de tamanho, ou seja, quantidade de atividades, quantidades de predecessores que podem existir, quantidade de financiamentos variando entre 8 ou 12 e quantidade de capital que vem de fonte externa ou do investimento inicial. A composição das instancias foi de 15 instâncias com 800 atividades, 50 predecessores e 8 ou 12 opções de financiamentos. As demais seguem a mesma lógica, organizadas de 15 em 15, variando entre 100 ou 50 predecessores e 8 ou 12 financiamentos tendo as atividades variando entre 1000 e 1200. Com todas as instâncias geradas foi possível iniciar os teste e compreender o desempenho computacional.

Além disso, ainda foi incorporado como parâmetros ajustam a proporção de capital próprio e de terceiros. O capital próprio seria o que o empreiteiro investe no projeto normalmente no seu início, em cada instância foi fixado o valor de capital próprio que pode ser adicionado ao projeto em relação ao custo total. Outra medida incorporada foi em relação ao capital de terceiro, fixamos um valor também em cada instância também com proporções relacionadas ao custo total do projeto. Ao inserir essas medidas, de certa forma, fazemos com que os testes executados sejam de melhor qualidade pois assim "obrigamos" o modelo e considerar todos os recursos possíveis em busca da solução ótima e diminui o risco de cair em soluções triviais que demandariam pouco computacionalmente e provavelmente não refletiriam cenários reais.

Para melhor visualização de como esses valores foram utilizados, na Tabela 7 podemos ver que dentro de cada grupo de instâncias com quantidades diferentes de atividades temos 3 grupos de 20 instâncias em que as proporções de capital próprio e de terceiro variam entre os grupos da seguinte forma: instâncias com 20% de capital próprio e 15% de capital de terceiros, instâncias com 30% de capital próprio e 20% de capital de terceiros e instâncias com 40% de capital próprio e 30% de capital de terceiros em relação ao custo total do projeto.

Os testes foram realizados em um computador com processador Intel(R) Core(TM) i7-3770U com velocidade CPU de 3.4GHz, memória RAM de 8 GB com sistema operacional Linux. Ao rodar o modelo, algumas instâncias não estavam retornando uma solução viável, e por esse motivo foram substituídas por outras instâncias também geradas aleatoriamente.

Todas as instâncias foram executadas com limite de tempo de 7200 segundos e com a opção de pré-processamento Gurobi habilitada.

Tabela 7 – Proporção de capital próprio e de terceiros em cada grupo de instâncias

Q. Instâncias.	Q. Atividades	Capital Próprio	Capital Terceiro
20	800	20%	15%
20	800	30%	20%
20	800	40%	30%
20	1000	20%	15%
20	1000	30%	20%
20	1000	40%	30%
20	1200	20%	15%
20	1200	30%	20%
20	1200	40%	30%

5.3 Resultados obtidos

Todas as instâncias geradas aleatoriamente foram utilizadas como entrada para o modelo de forma a possibilitar a apresentação dos resultados e algumas análises sobre eles. Considerando que foi executada uma bateria de testes muito grande, os resultados serão apresentados de forma sumarizada. Na Tabela 8 é possível acompanhar os resultados obtidos onde são exibidos considerando baterias de 15 e 15 testes. Dessa forma, temos a quantidade de instâncias que compõem, a quantidade de atividades que cada uma delas contém bem como a quantidade de predecessores e financiamentos. O tempo de solução é dado como uma média e por fim apresenta-se a quantidade de instâncias que não completaram a otimalidade devido a uma limitação de tempo programada manualmente.

A coluna nome apresenta o nome de cada grupo de instâncias e segunda coluna nos mostra quantas instâncias compõem cada um desses grupos. Na terceira coluna podemos identificar a quantidade de atividades que as instâncias daquele grupo possuem e na sequência a quantidade de predecessores tem no total nas instâncias daquele grupo e a quantidade de financiamentos na quinta coluna da tabela. A coluna de tempo médio apresenta uma média aritmética dos tempos de solução em segundos das instâncias de determinado grupo e a coluna GAP reflete a quantidade de instâncias que não completaram a otimalidade.

Tabela 8 – Média dos Resultados dos testes

Nome	Inst.	Atv	Predecessores	Fin	Tempo Médio	GAP
1	15	800	50	8	318,55	2
2	15	800	50	12	720,94	1
3	15	800	100	8	101,83	3
4	15	800	100	12	309,93	4
5	15	1000	50	8	375,66	0
6	15	1000	50	12	230,47	2
7	15	1000	100	8	797,78	2
8	15	1000	100	12	160,08	1
9	15	1200	50	8	240,30	1
10	15	1200	50	12	339,68	0
11	15	1200	100	8	1495,36	1
12	15	1200	100	12	297,33	0

Podemos observar que o tempo de solução médio das instâncias foi relativamente baixo, como utilizamos um gerador de instâncias aleatórias, perdemos um pouco a sensibilidade na hora de construir as mesmas, fazendo com que elas não fiquem tão complexas como poderiam. Entretanto, como o valor apresentado é o valor médio, tivemos sim algumas instâncias que ultrapassaram os 7200s para resolução e ainda e foram interrompidas devido ao limite de tempo imposto ao programarmos.

Alguns dos testes realizados, observamos que retornou um gap de otimalidade. Na Tabela 9 é possível acompanhar com mais detalhes quais são essas instâncias. A tabela foi organizada de forma que cada linha representa a variação de quantidade de atividades relacionando com as dimensões de opções de financiamentos e máximo de predecessores no horizonte de planejamento. Por fim, a coluna "Tempo" apresenta o tempo em segundos que foi usado até que a execução fosse interrompida, em seguida temos o valor que a instância retornou para a função objetivo e por fim o GAP atingido.

Tabela 9 – Testes que apresentaram GAP

Nome	Q. de Atvs.	Máximo de Predecessores	Financiamentos	Tempo (s)	Obj	GAP
1	800	50	12	7299,71	50411,66	0,000119
2	800	100	8	7200,15	57836,07	0,000154
3	1000	50	8	7200,14	77760,00	0,000115
4	1000	100	8	7200,10	60125,48	0,000170
5	1200	100	8	7200,13	75302,00	0,000213
6	1200	100	8	7417,55	91926,22	0,000188

Como as instâncias foram geradas aleatoriamente, percebemos uma grande variação nos resultados, tanto do ponto de vista da função objetivo quanto do ponto de vista do tempo para resolução. Dessa forma, a título de ilustrar melhor os resultados obtidos, uma tabela completa com todos os dados foi inserida nos anexos.

Ao analisar todos os resultados é possível perceber que as características importantes em projetos práticos foram incorporadas de maneira satisfatória. Não foi possível perceber uma lógica no crescimento do tempo dentre os grupos de instâncias criadas. As instâncias, no entanto, são satisfatórias do ponto de vista do porte para aplicações reais.

A relaxação linear das instâncias geradas gerou resultados, na grande maioria dos casos, iguais ao valor do objetivo, o que explica, em parte, a facilidade de solução do problema. Entendemos que uma vez que não há recursos renováveis, a opção de contratação de financiamentos flexibiliza muito a restrição de recursos, tornando o problema relativamente fácil na maioria dos casos.

Do ponto de vista da aplicação, percebeu-se que em algumas instâncias, um aumento na disponibilidade de crédito levou a variações significativas nos valores da função objetivo em comparação com instâncias em que o limite de crédito é mais limitado .

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

Essa pesquisa teve como norte discutir a programação de projetos com um horizonte de planejamento longo e preestabelecido com a possibilidade de incluir financiamentos ao fluxo de caixa para viabilização financeira do empreendimento. As restrições do problema envolvem a precedência entre as atividades, custos para execução das mesmas, possibilidade de retorno após a conclusão das tarefas e pagamento por completo da dívida. Então, o objetivo seria encontrar a melhor configuração para esses parâmetros e variáveis de forma que o lucro fosse maximizado ao final do horizonte de planejamento.

A discussão então girou entorno da construção do modelo incorporando o máximo de fatores possíveis e principalmente no teste de sua aplicabilidade. Ao realizar esse trabalho, ficou claro que modelos de otimização que combinam fluxo de caixa com o sequenciamento de atividades é uma vertente bastante aplicável, principalmente dado a quantidade de referências relevantes e recentes encontradas na literatura que tendem para o mesmo caminho que essa pesquisa almeja chegar. Cabe ressaltar que apesar de resultados satisfatórios em termos da construção do modelo, alguns ajustes mais finos foram feitos no gerador de instâncias visto que algumas delas não estavam retornando solução viável, portanto tiveram de ser substituídas.

Esse estudo contribui para o conhecimento existente nesse ramo de pesquisa, primeiramente pelo fato de apresentar uma formulação robusta que conta com diversas variáveis presentes nos cenários reais e segundo pois insere a possibilidade de utilização de um gerador de instâncias aleatórias que após alguns ajustes pode fornecer instâncias bem próximas a realidade de modo a contribuir com testes cada vez mais complexos.

Para trabalhos futuros, pretende-se incorporar as possibilidades de adequações do modelo focando principalmente na incorporação de planos de investimento onde pode-se optar pela antecipação de retornos das atividades em determinados momentos ou até mesmo o pagamento ocorrendo integralmente no fim do horizonte e também incluir recursos renováveis, levando o problema para ainda próximo do contexto da construção civil.

Referências

- ALAVIPOUR, S. R.; ARDITI, D. Optimizing financing cost in construction projects with fixed project duration. *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, v. 144, n. 4, p. 04018012, 2018. Citado na página 11.
- ALAVIPOUR, S. R.; ARDITI, D. Time-cost tradeoff analysis with minimized project financing cost. *Automation in Construction*, Elsevier, v. 98, p. 110–121, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.
- BOŹEJKO, W.; HEJDUCKI, Z.; WODECKI, M. Applying metaheuristic strategies in construction projects management. *Journal of Civil Engineering and Management*, Taylor & Francis, v. 18, n. 5, p. 621–630, 2012. Citado na página 2.
- CAREVETTI, D. "PIB da construção cai 2,4% e setor volta ao patamar de 2008". 2020. [Online; accessed 24-Janeiro-2021]. Disponível em: <<https://smartus.com.br/construcao-pib-economia-2020/>>. Citado na página 1.
- (CBIC), C. B. da Indústria da C. PIB da construção fecha o ano com crescimento de 9,7%, a maior alta em 11 anos. 2022. Online; accessed 08-Julho-2022]. Disponível em: <<https://cbic.org.br>>. Citado na página 1.
- CORNUEJOLS, R. T. G. *Optimization methods in finance*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2007. (Mathematics, Finance and Risk). Citado na página 7.
- DEMEULEMEESTER, E.; HERROELEN, W. A branch-and-bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem. *Management science*, INFORMS, v. 38, n. 12, p. 1803–1818, 1992. Citado 4 vezes nas páginas 5, 6, 17 e 18.
- EICK, G. et al. Viabilidade econômica e financeira de uma pequena central hidrelétrica no Brasil. Florianópolis, 2010. Citado na página 19.
- ENGSNER, H.; LINDENSJÖ, K.; LINDSKOG, F. The value of a liability cash flow in discrete time subject to capital requirements. *Finance and Stochastics*, Springer, v. 24, n. 1, p. 125–167, 2020. Citado na página 8.
- GITMAN, L. J. et al. *Princípios de administração financeira*. [S.l.]: Harbra, 1997. Citado na página 7.
- HABIBI, F.; BARZINPOUR, F.; SADJADI, S. Resource-constrained project scheduling problem: review of past and recent developments. *Journal of project management*, v. 3, n. 2, p. 55–88, 2018. Citado na página 6.
- HARTMANN, S.; BRISKORN, D. A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of operational research*, Elsevier, v. 207, n. 1, p. 1–14, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.
- HIRSCHFELD, H. *Engenharia econômica e análise de custos: aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores*. [S.l.]: Atlas, 2000. Citado na página 19.

JIANG, A.; ISSA, R. R.; MALEK, M. Construction project cash flow planning using the pareto optimality efficiency network model. *Journal of civil engineering and management*, Taylor & Francis, v. 17, n. 4, p. 510–519, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 11, 17 e 18.

KIMMS, A. *Mathematical programming and financial objectives for scheduling projects*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. v. 38. Citado na página 3.

KLIMEK, M. Techniques of generating schedules for the problem of financial optimization of multi-stage project. *Applied Computer Science*, v. 15, n. 1, 2019. Citado na página 9.

KLIMEK, M. Financial optimization of the resource-constrained project scheduling problem with milestones payments. *Applied Sciences*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 11, n. 2, p. 661, 2021. Citado 4 vezes nas páginas 2, 15, 17 e 18.

KOCHERLAKOTA, R.; ROSENBLOOM, E.; SHIU, E. S. Algorithms for cash-flow matching. *Transactions of Society of Actuaries*, v. 40, n. 1, p. 477–484, 1988. Citado 5 vezes nas páginas 5, 7, 8, 17 e 18.

KOO, C.; HONG, T.; KIM, S. An integrated multi-objective optimization model for solving the construction time-cost trade-off problem. *Journal of Civil Engineering and Management*, Taylor & Francis, v. 21, n. 3, p. 323–333, 2015. Citado na página 1.

KUDRATOVA, S. et al. Corporate sustainability and stakeholder value trade-offs in project selection through optimization modeling: Application of investment banking. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Wiley Online Library, v. 27, n. 2, p. 815–824, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 15, 17 e 18.

LIU, S.-S.; WANG, C.-J. Resource-constrained construction project scheduling model for profit maximization considering cash flow. *Automation in Construction*, Elsevier, v. 17, n. 8, p. 966–974, 2008. Citado 4 vezes nas páginas 7, 10, 17 e 18.

LIU, S.-S.; WANG, C.-J. Profit optimization for multiproject scheduling problems considering cash flow. *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, v. 136, n. 12, p. 1268–1278, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 10, 11, 17 e 18.

LUENBERGER, D. G. *Investment Science*. [S.l.]: Oxford University Press: New York, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 7 e 9.

MARTINS, P. Integrating financial planning, loaning strategies and project scheduling on a discrete-time model. *Journal of Manufacturing Systems*, Elsevier, v. 44, p. 217–229, 2017. Citado 8 vezes nas páginas 5, 12, 13, 14, 15, 17, 18 e 19.

MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. Rio de Janeiro: Elsevier. cap, v. 8, p. 165–194, 2010. Citado na página 21.

NATOLSKI, J.; WERNER, R. Mathematical analysis of replication by cash flow matching. *Risks*, MDPI, v. 5, n. 1, p. 13, 2017. Citado na página 8.

NG, S. T.; ZHANG, Y. Optimizing construction time and cost using ant colony optimization approach. *Journal of construction engineering and management*, American Society of Civil Engineers, v. 134, n. 9, p. 721–728, 2008. Citado na página 2.

- NUNES, J. M. et al. O setor da construção civil no Brasil e a atual crise econômica. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, p. e393997274–e393997274, 2020. Citado na página 1.
- PMBOK, G. Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos. *Sexta Edição*, 2017. Citado na página 5.
- QIN, X. et al. Covid-19 pandemic and firm-level cash holding—moderating effect of goodwill and goodwill impairment. *Emerging Markets Finance and Trade*, Taylor & Francis, v. 56, n. 10, p. 2243–2258, 2020. Citado 4 vezes nas páginas 1, 8, 17 e 18.
- RABENSCHLAG, D. R. Pesquisa operacional. *Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria*, 2005. Citado na página 5.
- ROSÁRIO, L. D. *Análise da Viabilidade Económica e Financeira de Projetos de Investimento em Cabo Verde*. Dissertação (B.S. thesis) — INSTITUTO SUPERIOR DE CIÊNCIAS ECONÓMICAS E EMPRESARIAIS, 2014. Citado na página 19.
- SAMANEZ, C. P. *Engenharia econômica*. [S.l.]: Pearson, 2009. Citado na página 18.
- SANTOS, S. Q. Uma heurística lagrangiana para o problema de ajuste de fluxo de caixa e sequenciamento de projetos com recursos limitados. 2018. Citado 4 vezes nas páginas 12, 17, 18 e 25.
- SILVA, E. L. D.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. *UFSC, Florianópolis, 4a. edição*, v. 123, 2005. Citado na página 21.
- TAO, S.; DONG, Z. S. Multi-mode resource-constrained project scheduling problem with alternative project structures. *Computers & Industrial Engineering*, Elsevier, v. 125, p. 333–347, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 6, 17 e 18.
- TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas. *Apostila do curso de Especialização em Qualidade e Produtividade. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG*, 2012. Citado na página 21.
- ULUSOY, G.; SIVRIKAYA-ŞERİFOĞLU, F.; ŞAHİN, Ş. Four payment models for the multi-mode resource constrained project scheduling problem with discounted cash flows. *Annals of Operations research*, Springer, v. 102, n. 1-4, p. 237–261, 2001. Citado 3 vezes nas páginas 9, 10 e 14.
- VIEIRA, C. da S. Modelagem e solução de problemas de sequenciamento de atividades em projetos com restrição de recursos. 2010. Citado na página 5.
- ZHOU, J. et al. A review of methods and algorithms for optimizing construction scheduling. *Journal of the Operational Research Society*, Springer, v. 64, n. 8, p. 1091–1105, 2013. Citado na página 6.

Anexos

ANEXO A – Imagens arquivos gerador de instâncias

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Gerador ArqName="teste">
  <Atividades>
    <nAtvs>200</nAtvs>
    <MaxPrec>12</MaxPrec>
    <DurDist>beta</DurDist>
    <ParDur>10</ParDur>
    <ParDur>3</ParDur>
    <ParDur>3</ParDur>
    <CusDist>beta</CusDist>
    <ParCus>50</ParCus>
    <ParCus>2</ParCus>
    <ParCus>5</ParCus>
    <nARet>20</nARet>
    <LucPerc>0.5</LucPerc>
  </Atividades>
  <Financiamentos>
    <nF>6</nF>
    <tempo_max>1500</tempo_max>
    <PercEmax>0.20</PercEmax>
    <taxa_max>0.0005</taxa_max>
  </Financiamentos>
  <pI0>0.3</pI0>
  <taxa_i>0.0002</taxa_i>
  <FixDist>beta</FixDist>
  <ParFix>5</ParFix>
  <ParFix>2</ParFix>
  <ParFix>2</ParFix>
</Gerador>

```

Figura 3 – Input gerador de instâncias aleatórias

```

<Atividades>
  <nome>a0</nome>
  <duracao>3</duracao>
  <custo>18</custo>
  <retorno>15.04</retorno>
  <es>0</es>
  <lf>26</lf>
  <nRec>2</nRec>
</Atividades>
...|
<Atividades>
  <nome>aFim</nome>
  <duracao>1</duracao>
  <custo>0</custo>
  <retorno>180.78</retorno>
  <es>11</es>
  <lf>35</lf>
  <pred>a0</pred>
  <pred>a1</pred>
  <pred>a2</pred>
  <pred>a3</pred>
  <pred>a4</pred>
  <pred>a5</pred>
  <pred>a6</pred>
  <pred>a7</pred>
  <pred>a8</pred>
  <pred>a9</pred>
  <nRec>0</nRec>
</Atividades>
<Financiamentos>
  <nome>Fin0</nome>
  <taxa_if>0.000246</taxa_if>
  <Limite_E>17.45</Limite_E>
  <Prazo_init>141</Prazo_init>
>
</Financiamentos>
<Financiamentos>
  <nome>Fin1</nome>
  <taxa_if>0.000400</taxa_if>
  <Limite_E>8.05</Limite_E>
  <Prazo_init>607</Prazo_init>
>
</Financiamentos>
<RecRen>
  <nome>r0</nome>
  <nRec>5</nRec>
</RecRen>
<taxa_i>0.0002</taxa_i>
<t_max>36</t_max>
<fix>3</fix>
<I0>154.20528554498833</I0>
<ffix>0.6000000000000001</ffix>
</Instancia>

```

Figura 4 – Output gerador de instâncias aleatórias - Instância com 10 atividades

ANEXO B – Tabela com os resultados de todas as instâncias

Instância	Atividades	Máximo de Predecessores	Financiamentos	Tempo (s)	F. Objetivo	GAP
I1	800	50	8	141,56	45026,39	0,000000
I2	800	50	8	146,09	44941,29	0,000000
I3	800	50	8	134,83	46530,82	0,000000
I4	800	50	8	0,00	0,00	0,000000
I5	800	50	8	153,97	44043,58	0,000000
I6	800	50	8	2143,72	49467,00	0,000099
I7	800	50	8	154,67	51937,84	0,000000
I8	800	50	8	85,66	51152,82	0,000000
I9	800	50	8	98,43	50934,98	0,000082
I10	800	50	8	0,00	0,00	0,000000
I11	800	50	8	209,31	60160,07	0,000097
I12	800	50	8	127,51	62299,89	0,000057
I13	800	50	8	108,34	60332,06	0,000095
I14	800	50	8	85,32	59495,82	0,000000
I15	800	50	8	82,59	59894,48	0,000000
I16	800	50	12	135,82	46445,22	0,000000
I17	800	50	12	136,61	45944,18	0,000000
I18	800	50	12	133,00	45377,46	0,000000
I19	800	50	12	171,44	44506,46	0,000055
I20	800	50	12	146,16	44571,73	0,000000
I21	800	50	12	7299,71	50411,66	0,000119
I22	800	50	12	0,00	0,00	0,000000
I23	800	50	12	137,91	49753,32	0,000000
I24	800	50	12	141,15	49452,76	0,000000
I25	800	50	12	85,29	47507,87	0,000000
I26	800	50	12	85,36	58319,77	0,000000
I27	800	50	12	89,82	58458,52	0,000000
I28	800	50	12	89,06	61116,14	0,000000
I29	800	50	12	174,81	59783,79	0,000048
I30	800	50	12	90,67	61561,09	0,000000
I31	800	100	8	0,00	0,00	0,000000
I32	800	100	8	100,93	44329,49	0,000000
I33	800	100	8	0,00	0,00	0,000000
I34	800	100	8	114,39	42907,57	0,000000
I35	800	100	8	96,94	43817,24	0,000000
I36	800	100	8	104,42	47701,91	0,000000
I37	800	100	8	116,05	47835,63	0,000000
I38	800	100	8	146,70	47875,08	0,000099
I39	800	100	8	0,00	0,00	0,000000
I40	800	100	8	130,86	48787,39	0,000078
I41	800	100	8	70,44	56298,21	0,000000
I42	800	100	8	67,79	57837,95	0,000000
I43	800	100	8	69,81	59688,38	0,000000
I44	800	100	8	7200,15	57836,07	0,000154
I45	800	100	8	69,55	58384,04	0,000000
I46	800	100	12	0,00	0,00	0,000000
I47	800	100	12	0,00	0,00	0,000000
I48	800	100	12	94,75	41740,29	0,000000
I49	800	100	12	0,00	0,00	0,000000
I50	800	100	12	121,79	44101,56	0,000000

Instância	Atividades	Máximo de Predecessores	Financiamentos	Tempo (s)	F. Objetivo	GAP
I51	800	100	12	107,56	47241,48	0,000000
I52	800	100	12	105,56	46657,07	0,000000
I53	800	100	12	181,89	48071,26	0,000097
I54	800	100	12	107,49	46547,69	0,000000
I55	800	100	12	0,00	0,00	0,000000
I56	800	100	12	1893,70	55297,60	0,000098
I57	800	100	12	111,43	57115,06	0,000000
I58	800	100	12	65,23	58361,18	0,000000
I59	800	100	12	65,73	57649,64	0,000000
I60	800	100	12	72,25	56752,01	0,000000
I61	1000	50	8	181,05	61058,97	0,000000
I62	1000	50	8	182,19	60341,23	0,000000
I63	1000	50	8	178,07	59672,55	0,000000
I64	1000	50	8	165,74	59376,69	0,000000
I65	1000	50	8	162,30	57798,38	0,000000
I66	1000	50	8	263,93	65312,76	0,000078
I67	1000	50	8	163,21	64063,41	0,000000
I68	1000	50	8	173,76	65504,96	0,000000
I69	1000	50	8	153,25	66266,55	0,000000
I70	1000	50	8	349,20	66312,33	0,000080
I71	1000	50	8	2624,92	80156,34	0,000100
I72	1000	50	8	142,04	78835,38	0,000000
I73	1000	50	8	143,97	77660,33	0,000000
I74	1000	50	8	159,22	76474,72	0,000000
I75	1000	50	8	7200,14	77760,00	0,000115
I76	1000	50	12	179,05	58573,50	0,000000
I77	1000	50	12	752,83	58251,84	0,000068
I78	1000	50	12	0,00	0,00	0,000000
I79	1000	50	12	0,00	0,00	0,000000
I80	1000	50	12	169,61	58541,63	0,000000
I81	1000	50	12	171,08	65627,54	0,000000
I82	1000	50	12	163,67	65644,47	0,000000
I83	1000	50	12	302,11	66889,71	0,000078
I84	1000	50	12	179,57	66583,15	0,000000
I85	1000	50	12	163,68	64779,14	0,000090
I86	1000	50	12	147,55	78853,46	0,000000
I87	1000	50	12	163,23	74616,57	0,000023
I88	1000	50	12	142,82	76931,82	0,000000
I89	1000	50	12	147,33	77091,79	0,000000
I90	1000	50	12	172,21	76652,83	0,000046
I91	1000	100	8	0,00	0,00	0,000000
I92	1000	100	8	135,67	54972,09	0,000000
I93	1000	100	8	137,83	56705,31	0,000000
I94	1000	100	8	153,31	51934,48	0,000023
I95	1000	100	8	158,70	53784,37	0,000099
I96	1000	100	8	133,79	60481,58	0,000000
I97	1000	100	8	7200,10	60125,48	0,000170
I98	1000	100	8	126,05	59359,89	0,000000
I99	1000	100	8	0,00	0,00	0,000000
I100	1000	100	8	391,41	60897,21	0,000098
I101	1000	100	8	112,17	74798,29	0,000000
I102	1000	100	8	115,68	74502,45	0,000000
I103	1000	100	8	110,86	72918,83	0,000000
I104	1000	100	8	130,80	72589,57	0,000000
I105	1000	100	8	120,79	72846,96	0,000000
I106	1000	100	12	233,04	56350,52	0,000000
I107	1000	100	12	133,35	55578,17	0,000000
I108	1000	100	12	232,09	52694,79	0,000000
I109	1000	100	12	154,33	54033,38	0,000098
I110	1000	100	12	288,29	55648,49	0,000055
I111	1000	100	12	144,65	61621,87	0,000000
I112	1000	100	12	133,11	61969,52	0,000000
I113	1000	100	12	139,42	58960,27	0,000000
I114	1000	100	12	0,00	0,00	0,000000
I115	1000	100	12	115,83	73949,61	0,000000
I116	1000	100	12	119,74	72792,08	0,000000
I117	1000	100	12	115,75	73271,22	0,000000
I118	1000	100	12	111,40	70130,25	0,000000
I119	1000	100	12	122,11	74171,23	0,000000
I120	1200	50	8	448,10	75666,44	0,000034

Instância	Atividades	Máximo de Predecessores	Financiamentos	Tempo (s)	F. Objetivo	GAP
I121	1200	50	8	247,68	72613,94	0,000000
I122	1200	50	8	247,88	72105,24	0,000054
I123	1200	50	8	247,33	71962,62	0,000000
I124	1200	50	8	253,12	73955,32	0,000000
I125	1200	50	8	250,81	81490,58	0,000000
I126	1200	50	8	264,08	85173,41	0,000014
I127	1200	50	8	245,21	80439,55	0,000000
I128	1200	50	8	0,00	0,00	0,000000
I129	1200	50	8	251,11	81421,79	0,000000
I130	1200	50	8	135,32	99745,17	0,000047
I131	1200	50	8	151,32	99256,26	0,000034
I132	1200	50	8	141,61	97200,90	0,000052
I133	1200	50	8	130,04	99223,51	0,000072
I134	1200	50	12	255,59	75416,36	0,000000
I135	1200	50	12	288,63	73997,12	0,000007
I136	1200	50	12	263,82	72965,11	0,000000
I137	1200	50	12	280,73	76530,97	0,000000
I138	1200	50	12	471,91	71885,53	0,000005
I139	1200	50	12	1248,02	84404,96	0,000095
I140	1200	50	12	252,34	82385,01	0,000000
I141	1200	50	12	249,38	82684,22	0,000000
I142	1200	50	12	251,83	82785,32	0,000000
I143	1200	50	12	260,11	82293,43	0,000000
I144	1200	50	12	128,93	100885,99	0,000072
I145	1200	50	12	222,34	98556,63	0,000000
I146	1200	50	12	242,17	94611,21	0,000000
I147	1200	50	12	234,40	98279,87	0,000000
I148	1200	50	12	289,11	96267,56	0,000087
I149	1200	100	8	196,82	67897,72	0,000050
I150	1200	100	8	0,00	0,00	0,000000
I151	1200	100	8	248,76	66563,47	0,000000
I152	1200	100	8	228,84	68455,30	0,000000
I153	1200	100	8	230,27	70623,66	0,000000
I154	1200	100	8	200,19	75192,11	0,000000
I155	1200	100	8	193,26	76030,24	0,000000
I156	1200	100	8	194,18	77274,24	0,000000
I157	1200	100	8	7200,13	75302,00	0,000213
I158	1200	100	8	161,77	92540,96	0,000048
I159	1200	100	8	7417,55	91926,22	0,000188
I160	1200	100	8	177,16	89409,79	0,000000
I161	1200	100	12	214,53	68623,24	0,000000
I162	1200	100	12	214,27	71364,73	0,000000
I163	1200	100	12	395,89	68594,43	0,000023
I164	1200	100	12	197,33	65643,75	0,000000
I165	1200	100	12	207,80	76416,49	0,000000
I166	1200	100	12	0,00	0,00	0,000000
I167	1200	100	12	955,47	74910,97	0,000100
I168	1200	100	12	202,76	76526,99	0,000000
I169	1200	100	12	204,86	94492,44	0,000000
I170	1200	100	12	320,45	91398,15	0,000086
I171	1200	100	12	177,99	90492,74	0,000000
I172	1200	100	12	179,29	93888,60	0,000000
I173	1200	100	8	253,11	83593,43	0,000000
I174	1200	100	8	138,93	100985,99	0,000072
I175	1200	100	8	282,34	98786,63	0,000000
I176	1200	100	12	247,87	94651,21	0,000000
I177	1200	100	12	334,40	92279,87	0,000000
I178	1200	100	12	270,11	83293,43	0,000000
I179	1200	100	12	135,93	110885,99	0,000072
I180	1200	100	12	225,34	98556,63	0,000000

Tabela 10 – Comparação entre trabalhos e modelos