UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

HIAGO CAPOBIANGO MALTA

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA NA CONSTRUÇÃO DE UM PLANEJAMENTO AGREGADO DE AQUISIÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

JUIZ DE FORA
2021

HIAGO CAPOBIANGO MALTA

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA NA CONSTRUÇÃO DE UM PLANEJAMENTO AGREGADO DE AQUISIÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc. Fernando Marques de Almeida Nogueira.

JUIZ DE FORA

2021

Ficha catalográfica

HIAGO CAPOBIANGO MALTA

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA NA CONSTRUÇÃO DE UM PLANEJAMENTO AGREGADO DE AQUISIÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovado em 10/09/2021.

BANCA EXAMINADORA

D. Sc. Fernando Marques de Almeida Nogueira

Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc. Márcio de Oliveira

Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc. Clarice Breviglieri Porto

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGREDECIMENTOS

Ao longo da minha graduação tive o privilégio de contar com duas instituições de ensino de alto nível e pessoas formidáveis que elevaram o nível das minhas experiências e tornaram este momento possível.

Em primeiro lugar, agradeço aos meus velhos amigos de Visconde do Rio Branco e à minha antiga líder Sylviane Santos, por acreditaram no meu potencial e me incentivarem a aceitar o desafio de entrar para a UFV, em um momento em que não apostava que este era um sonho possível.

À minha família formada pela minha avó Luiza e pelo meu tio Claudiney, que mesmo distantes fisicamente se fizeram presentes do início ao fim, oferecendo apoio, suporte, carinho e amor incondicional. Aos meus avós Geni e Silvio Idis, que me apoiaram durante a minha transição da UFV para a UFJF em busca de novos desafios e aprendizados.

À Soluções Consultoria, CenTev/UFV, Buffet Parthenon, Voitto, Nefroclin, Wabtec Brasil, WQUEIROZ Engenharia, YNOS e Deode. Serei eternamente grato pelas oportunidades de trabalho que me deram ao longo da graduação e pela formação do profissional que sou hoje.

Aos meus amigos de Viçosa, em especial à Deizy Pimentel, e de Juiz de Fora, com destaque a Kryssia Pacheco, Bruna Lopes e Natália Ferreira, por estarem ao meu lado e serem o meu porto seguro dos momentos mais sombrios aos mais irreverentes. Em São Paulo, ao meu amigo e colega de trabalho Eric Scremin, pelo apoio imprescindível nesta reta final.

A todo o corpo de professores da UFV e UFJF, em especial à Mariana Paes e Bruno Milanez, pela visão empreendedora e ética abordada através de suas disciplinas na formação do engenheiro de produção, e aos professores Fernando, Márcio e Clarice pelas contribuições em torno da construção deste trabalho.

Por fim à UFV e UFJF, pelo ensino público e de qualidade que me permitiram a construção da base para rumar em busca do meu sucesso profissional.

RESUMO

A construção civil conta com vários fornecedores de serviços e insumos, e é um setor muito importante para a economia brasileira. Considerando as grandes quantidades de moradias entregadas por diversas empresas, com subsídios do governo e investimento empresarial, estimar os custos da construção é uma etapa muito importante do planejamento de construção de diversas empresas. Considerando que as construtoras têm uma margem muito baixa de lucro, é importante dimensionar de maneira precisa os valores a serem gastos com insumos e a logística dos mesmos. Logo, usar de ferramentas que possam diminuir os custos, se torna uma saída e otimiza a forma como os recursos são utilizados. Neste trabalho buscou-se apresentar um planejamento do fluxo de entrega de blocos cerâmicos, blocos que são transportados da cidade de São Paulo (SP) a cidade de Juiz de Fora (MG). O valor do frete dos tipos de bloco varia de acordo com o tipo de caminhão que a empresa disponibiliza, assim como o formato do bloco. Três fatores foram considerados para os resultados encontrados, como a disponibilidade dos caminhões de transporte da empresa fornecedora, as limitações do canteiro de obra e a demanda total por blocos. Determinado os três fatores, a logística de entrega dos blocos foi definida, dimensionando-se com base em 4 capacidades de carga diferente. Ao menos 3 viagens de cada capacidade de transporte foi realizada. Quanto as limitações no canteiro de obras, os espaços funcionais, como administrativo, refeitório e almoxarifado, e espaços para manuseio dos materiais através de guinchos e transporte de veículos pesados, foram pré-determinados no projeto de engenharia civil. Por último, a demanda total de blocos foi calculada, sendo possível calcular o valor de cada frete e a quantidade total de entregas necessárias. A definição de um planejamento otimizado por meio de um modelo de programação linear, possibilita a previsão precisa dos custos associados a uma construção de grande porte, podendo ser aplicada em outros estudos e construções diferentes.

Palavras-chave: Programação linear. Construção civil. Otimização.

ABSTRACT

Civil construction has several service and suppliers, also is a very important sector for the Brazilian economy. Considering the large amount of buildings delivered by different companies, with government subsidies and business investment, estimating the constructions costs is an important step in the construction planning of different companies. Considering that construction companies have a low economic gain, it is important to accurately dimension the amounts to be spent on inputs and their logistics. Therefore, using tools that can reduce costs becomes a way to optimizes the resources that are used. This work aimed to present a weekly delivery flow planning of ceramic blocks, blocks that are transported from the city of São Paulo (SP) to the city of Juiz de Fora (MG). The freight cost of block types varies according to the type of truck that the company have available, as well as the block format and size. Three factors were considered in this work, such as the availability of transport trucks from the supplier company, the limitations of the construction site and the total demand for blocks. Given the three factors, the delivery logistics of the blocks was determined, sizing based on 4 different load capacities. At least 3 trips of each transport truck were carried out. As for the limitations on the construction site, functional spaces such as administrative, cafeteria and warehouse were determined, safety factors were considered for the storage of blocks, ensuring the safety of operators and space for handling materials through winches and transport of heavy vehicles. The total demand for blocks was calculated, making it possible to estimate the value of each freight and the total quantity of deliveries required. Defining optimized planning using a linear programming model, enables accurate planning and forecasting of the total costs of a large construction. It can be applied in other studies and different constructions.

Keywords: Linear programming. Construction industry. Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis hierárquicos da empresa. 14
Figura 2- Comportamentos em uma série histórica. 16
Figura 3- Políticas de capacidade constante que usam a formação de estoques. 18
Figura 4- Política de ajuste da produção. 19
Figura 5- Política mista. 20

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Padrões de capacidade da frota de carretas do fornecedor. 22
Quadro 2- Quantitativo de blocos cerâmicos parede maciça da Torre 01 24
Quadro 3- Quantitativo de blocos cerâmicos parede maciça da Torre 02. 24
Quadro 4 - Demanda semanal por blocos 14 MPa. 25
Quadro 5- Referência numérica ao tipo de bloco. 25
Quadro 6 - Limite de blocos e demanda quantificada em paletes. Fonte: própria. 26
Quadro 7 - Limite de paletes por carreta. 27
Quadro 8 - Resultados da modelagem. 28
Quadro 9 - Composição das carretas. 29

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

PP – Planejamento da Produção.

PL - Programação Linear

PLI- Programação Linear Inteira

PCP – Planejamento e Controle da Produção.

PMP – Plano Mestre da Produção.

MATLAB – *Matrix Laboratory*.

ORSYS – *OperationsRecearch System.*

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 9

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 9
1.2 JUSTIFICATIVA 10
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 11
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 12
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 12
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 13

2. PLANEJAMENTO DE AQUISIÇÕES 14

2.1 GESTÃO DA DEMANDA 15
2.2 PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE 17
2.2.1 POLÍTICA DE CAPACIDADE CONSTANTE 18
2.2.2 POLÍTICA DE AJUSTE DA CAPACIDADE 19
2.2.3 POLÍTICA MISTA 20

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO 21

3.1. IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS DO PROBLEMA 21
3.1.1. LIMITAÇÕES DO FORNECEDOR 21
3.1.2. LIMITAÇÕES DO CANTEIRO DE OBRAS 22
3.1.3. DEMANDA POR BLOCOS 23
3.2. DEFINIÇÃO DO MODELO 25

4. CONCLUSÃO 30

REFERÊNCIAS 32

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A construção civil conta com uma vasta cadeia fornecedora, que por sua vez conta com insumos, serviços e maquinários. Este ramo de atividade atua no Brasil como instrumento fundamental para a promoção do crescimento econômico, sendo este responsável por gerar mais de 100.000 novas vagas de emprego só no primeiro trimestre de 2021, segundo um levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, no mesmo ano**.**

Somado ao potencial do setor, existem inúmeras políticas públicas, que contribuem para geração de emprego e renda para grande parte da população, enquanto promove melhorias nas condições de vida e acessibilidade com novas infraestruturas (CARVALHO; TEIXEIRA, 2005).

Destas políticas públicas digna de nota, o programa Minha Casa Minha Vida do governo federal, destina subsídios para a construção e aquisição de moradia populares. Estes subsídios são, em sua grande parte, utilizados para o financiamento de iniciativas de construção civil. No aniversário de 10 anos de existência do programa em 2019, mais de 4 milhões de unidades habitacionais já haviam sido entregues, e ao longo de toda a existência do programa, cerca de 3,5 milhões de trabalhadores foram empregados (G1, 2019).

Entendida a importância do setor, tanto economicamente quanto politicamente e socialmente. É necessário também compreender a complexidade das operações, na medida que a construção civil é uma atividade que envolve muitos fatores, e que é feita em um ambiente dinâmico e de grande variação de comportamento de demanda, torna o planejamento e gerenciamento um trabalho muito complexo (BANDEIRA 2015).

Desde a etapa de elaboração do orçamento de um projeto, até conclusão de uma obra, o reconhecimento das estimativas de custos anteriores e a mensuração de custos futuros para toda e qualquer atividade, é de suma importância. Concomitantemente, o acompanhamento do projeto a todo instante permite avaliar e corrigir incoerências ou desvios, que impactam diretamente na rentabilidade do empreendimento, bem como monitorar possíveis falhas, de execução ou planejamento, que possam vir a gerar uma descontinuidade das atividades (AVILA; LIBRELOTTO; LOPES, 2003).

Dentre os fatores determinantes para o projeto ser executado com sucesso, também é importante alinhar a gestão da demanda com a capacidade de transporte de materiais e suas restrições, como estocagem, por exemplo. No âmbito da construção civil o canteiro de obras é um espaço considerado temporário, sendo usado principalmente para o desenvolvimento de atividades de apoio, armazenamento e fluxo dos materiais envolvidos na operação. Tendo conhecimento que o processo do desenvolvimento de operações envolve vários riscos. Sejam esses riscos atrelados ao dano e a perda de materiais (SILVA,2013).

Na construção civil o estoque de materiais, quando em níveis próximos a zero, pode acarretar diretamente em paralisações nas atividades do canteiro de obras. Portanto, a gestão da demanda se torna de extrema importância, na medida que define as diretrizes do processo de aquisição de materiais (MENDES, 2013).

Sob o aspecto da complexidade e dinamismo da atividade planejada, faz se necessário a utilização de instrumentos de gestão que visem a redução de incertezas, garantia de prazos e a qualidade do projeto. Tornando-se por consequência, imprescindível para a busca dos objetivos de execução do projeto (LIMA, 2017).

Desta forma, o presente trabalho versará sobre uma aplicação prática da programação linear inteira (PLI), utilizada na construção de um planejamento agregado de aquisição. O modelo matemático proposto neste trabalho visa ajustar a entrega total de blocos cerâmicos de 14MPa à demanda prevista, satisfazendo as restrições de espaço para armazenagem e ao menor custo possível com frete.

1.2 JUSTIFICATIVA

Conforme supracitado, esse setor da indústria é responsável por parcela significativa do PIB brasileiro, ainda conta com estatísticas (G1, 2018a) positivas referentes a geração de empregos nos diversos setores da economia. Estima-se que mais de 12,5 milhões de pessoas são empregadas direta ou indiretamente graças à construção civil. Pesquisas também assimilam indicadores de crescimento na indústria da construção civil correlatas com o crescimento da nação como um todo. Segundo a CIBIC e o IBGE (2021), após registrar uma queda de 4,1% em 2020, a economia cresceu só nos 3 primeiros meses de 2021 1,2%. O PIB da construção civil cresceu 2,1% no primeiro trimestre de 2021, superando a alta que ocorreu no PIB brasileiro, o que mostra a força do setor na economia nacional, gerando um total de 105.248 novos postos de trabalho.

De acordo com o Diário Comércio Indústria & Serviço (2012), as construtoras operam com margens financeiras muito baixas, quando comparados projetos vinculados ao Programa Minha Casa Minha Vida com demais obras por elas executadas. Fator que diminui o número de empresas interessadas e gera obstáculos à continuidade do programa. Deste modo, ações com foco na redução de custos e aumento de eficiência se tornam imprescindíveis para a viabilidade do negócio, e por consequência obtenção de uma maior margem de lucro.

Para a obra de construção civil a qual este estudo é designado, atuar com ferramentas e técnicas que possam minimizar os gastos oriundos de fretes, permite a formação de reservas no orçamento. Essas reservas posteriormente podem ser realocadas em etapas posteriores no processo de construção, como etapas de acabamento ou utilizada como recursos de contingência para a tratativa dos eventuais desvios podem acometer o projeto. A utilização de recursos de maneira efetiva além da formação de reservas contribui para o fluxo de desenvolvimento como um todo, tratando-se de uma otimização do uso dos recursos.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O escopo deste trabalho tem como proposta apresentar um fluxo de programação semanal de entrega de blocos cerâmicos de resistência 14 MPa, atuando como uma ferramenta de apoio à decisão. Neste contexto, os blocos cerâmicos são transportados da cidade de São Paulo (SP) para a cidade de Juiz de Fora (MG).

Fora estabelecido durante as negociações com a empresa de veículos para o fretamento dos blocos, que seriam disponibilizados 6 diferentes tipos de carretas e que para cada modelo, um mínimo de 3 viagens deveria ser executado, de modo a garantir que o fornecedor tivesse uma maior flexibilidade para oferecer, dentre os diferentes modelos, aquela carreta que estivesse disponível no momento do pedido.

Neste âmbito o valor de frete, os tipos e tamanho de blocos, a demanda de blocos da obra a ser executada, ou quaisquer outros aspectos aqui apresentados, são consideradas variáveis deste problema. Portanto, quaisquer reproduções futuras com base neste trabalho, deverão levar em consideração a viabilidade de aplicação da ferramenta e do modelo matemático aqui proposto.

Dentro da pesquisa operacional, existem diversos métodos matemáticos e formas de resolver um problema de otimização que poderiam ser aplicados a este estudo de caso, salvo as considerações iniciais de cada método.

Este trabalho se limita ao estudo de otimização voltado para o custo com frete interestadual de apenas um único tipo de bloco dentre todos empregados no projeto. Tendo em consideração que os demais blocos podem ser adquiridos, junto a fornecedores geograficamente localizados próximo ao canteiro da obra. Estes blocos atendem requisitos de qualidade especificados em projeto, sendo que o custo de frete inviabiliza a compra interestadual.

O modelo não leva em consideração a variação da demanda no tempo, tendo em vista que na execução de uma obra destes porte e prazo, diversos fatores impactam na produtividade do canteiro de obras e dificultam no cumprimento exato da demanda planejada. Sendo assim o modelo leva em consideração apenas a composição ótima das carretas e a quantidade necessária de cada modelo disponibilizado pelo fornecedor.

Como metodologia este trabalho faz uso da aplicação de PLI, como método de modelagem do problema, fazendo-se uso de soluções computacionais para os processamentos matemáticos com auxílio do LINGO, para o alcance da solução que minimize os custos de transporte.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo principal a construção de um modelo matemático que visa a redução de custos oriundos de frete para o transporte de blocos cerâmicos. Os blocos cerâmicos são concebidos na cidade de São Paulo (SP) pelo fornecedor e são transportados para o canteiro de obra localizado na cidade de Juiz de Fora (MG). Para a construção de moradias populares, provenientes do programa Minha Casa Minha Vida.

Especificamente define-se o objetivo como a elaboração de uma programação ótima para a entrega total dos blocos cerâmicos na obra.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Conforme observação realizada *in loco,* foi identificado uma oportunidade de melhoria junto a programação de entrega de blocos cerâmicos, incorrendo por consequência, uma redução nos custos de frete. Tendo assim, como etapa inicial a pesquisa bibliográfica, trazendo estudos vinculados com pesquisa operacional e programação linear que se adequem ao problema proposto.

O levantamento de variáveis e hipóteses, feita pessoalmente em campo, tem como objetivo determinar e avaliar a dinamicidade da atividade, bem como realizar todo o levantamento de dados necessário para a estruturação e construção do modelo para a resolução do problema encontrado.

Também tendo como base as pesquisas na literatura, é realizada a escolha do tipo de programação a ser utilizada. Considerando como fator determinante todos os fatores limitadores, seja das medidas ou da modelagem a ser empregada de forma compatível.

Para a modelagem, os passos a serem seguidos são:

- Definição do objetivo de otimização: maximização ou minimização, de acordo com o problema pesquisado, trata-se de minimização do tempo e custo de fretes;
- Identificação das variáveis de decisão;
- Determinação das restrições do modelo nas formas de equações e/ou inequações;
- Estruturação da função objetivo;
- Resolução do problema por meio do uso do *software*.

Por fim, a partir das saídas do *software*, deverá ser feito uma análise apurada do resultado à fim de identificar se é de fato uma solução aplicável à realidade do negócio.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A confecção deste trabalho apresenta a seguinte divisão. No primeiro capítulo são introduzidos elementos contextualizadores e justificativa para o desenvolvimento deste estudo. Também é apresentado os objetivos da construção, metodologia proposta e os resultados esperados.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico fruto da pesquisa bibliográfica para o desenvolvimento da solução proposta. Neste é apresentado conceitos e publicações referentes aos temas de Planejamento de Aquisições.

O terceiro capítulo ocorre o desenvolvimento do problema propriamente dito, demonstrando sistematicamente a manipulação dos dados para obtenção do resultado, e demonstrando os resultados obtidos.

Por fim, no quarto é apresentado as conclusões obtidas em função dos resultados para o projeto de construção como um todo.

2. PLANEJAMENTO DE AQUISIÇÕES

Para Lobo e Silva (2014), o planejamento de curto, médio e longo prazo, é de fundamental importância dentro de uma organização, na medida que envolve desde as diretrizes à rotina empresarial. Sendo assim, faz-se necessário adotar metodologias e sistemas de trabalho que garantam a fluidez e rapidez no repasse das informações em meio aos 3 níveis hierárquicos, indicados na Figura 1 para a tomada de decisão.

Figura 1 - Níveis hierárquicos da empresa.

Fonte 1: Adaptado de Lobo e Silva (2014)

Nanci *et. al*. (2008) compreende que é papel do planejamento e controle da produção trafegar pelos três níveis, atuando de cima para baixo. No nível estratégico são tomadas as decisões de alto impacto em relação aos objetivos estratégicos da organização, e é onde a escolha da estratégia de atendimento à demanda é tomada, com base no Planejamento da Capacidade e no Planejamento Agregado de Produção. No nível tático são feitas as desagregações do Plano Mestre de Produção (PMP) para cada produto em períodos de tempo subdivididos, para que no nível operacional seja planejado a necessidade de recursos e ambientes de produção de acordo com as restrições de capacidade.

Para Chiavenato (2008), o planejamento da produção (PP) tem por finalidade prover à organização uma produção com o máximo de eficiência e eficácia na medida que:

> Quanto melhor for a utilização racional e intensiva dos recursos produtivos, tanto maior será a eficiência. Para obter eficiência, deve-se planejar melhor. O mesmo ocorre com a eficácia. Ela representa o alcance ótimo dos objetivos pretendidos. A produção eficaz significa a produção planejada entregue no tempo planejado e no custo esperado.

2.1 GESTÃO DA DEMANDA

Considerando um ambiente competitivo, a previsão possui um papel fundamental no planejamento estratégico de diversos setores, como produção, finanças ou vendas. Estas previsões segundo Fernandes e Godinho Filho (2010), podem ser classificadas de acordo com o horizonte de planejamento (se serão a curto, médio ou a longo prazo), cada prazo determina o que será importante prever e determinar quais serão as principais entradas do planejamento de produção. O comportamento do mercado pode mudar no decorrer do tempo, mesmo com o desenvolvimento da tecnologia e a maior quantidade de pacotes computacionais, o uso de métodos de previsão ainda não são o suficiente para garantir bons resultados para uma previsão sólida. Mas ter um certo conhecimento acerca da demanda reduz substancialmente o risco de se ter altos custos decorrentes de decisões erradas de produção.

Para Nahmias (2009) é importante adequar o modelo de previsão ao comportamento da demanda de cada produto, pois se a previsão de demanda for realizada de maneira imprecisa o planejamento vai exigir mudanças. Com um sistema de planejamento robusto, pode-se reagir mais rapidamente a imprevistos e erros na previsão de demanda. Uma boa previsão geralmente inclui erros, assim como também previsões a longos prazos perdem precisão, como o exemplo dado pelo mesmo, a previsão do valor da *Dow Jones* para o dia de amanhã será muito mais precisa do que para um prazo de um ano.

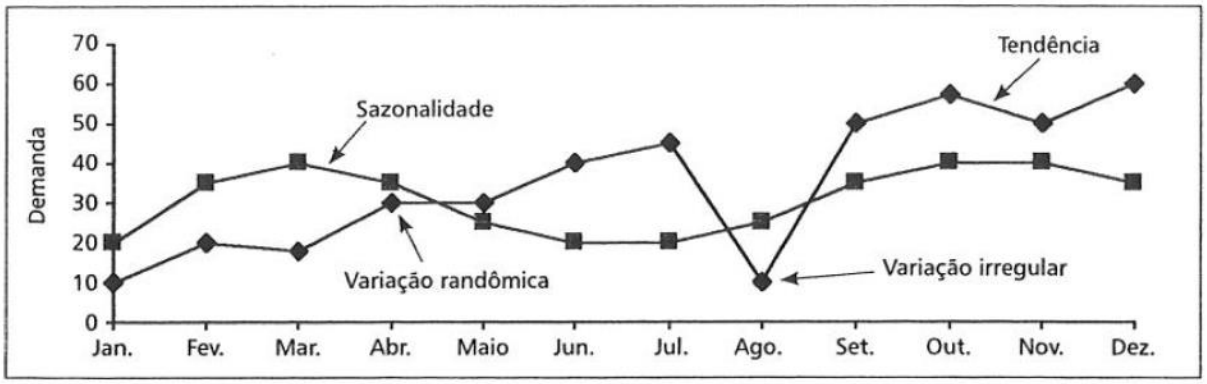
Pode-se dividir a previsão em dois métodos, o qualitativo e o quantitativo, que por sua vez pode ser dividido em modelos/análises casuais ou séries temporais.

No método qualitativo, as previsões vêm de informações que não possuem uma estrutura analítica bem definida. Estas informações podem ser muito úteis quando não há informação prévia, como por exemplo um produto novo que não possui histórico de venda. Geralmente serão previsões positivas ou negativas baseadas em opiniões subjetivas e pessoais, com base nas experiências de pessoas envolvidas. A vantagem de uma precisão quantitativa é que ela permite uma avaliação com resultados razoáveis e rápidos (CHAPMAN, 2006).

Pelo método quantitativo causal tem-se dados que permitem uma previsão precisa, e são baseados em um fator principal e sua relação causa e efeito com uma ou mais variáveis independentes. Pode-se usar a análise de regressão, que faz a previsão do comportamento futuro de um certo fator em relação a duas ou mais variáveis. A intenção deste modelo é descobrir como as variáveis se relacionam e prever os valores futuros de uma variável dependente. Os modelos econométricos são baseados em análises estatísticas de diversos setores da economia (CHAPMAN, 2006).

Além das outras técnicas para previsões quantitativas, pode-se fazê-las com base em séries temporais, que vão partir do princípio que a demanda futura terá um comportamento parecido com valores passados. Um método simples de previsão que se bem elaborado pode trazer resultados robustos. Para utilizar este modelo, deve-se plotar os dados e identificar os fatores que influenciam no formato da curva. Nesta curva podem ser identificados comportamentos de tendência, sazonalidade e variações (randômicas ou irregulares), comportamentos que podem ser identificados na Figura 2:

Figura 2- Comportamentos em uma série histórica.



Fonte 2: Adaptado de Tubino (2007).

Para a construção do Planejamento Agregado de Aquisição de blocos cerâmicos para a construção civil objeto deste estudo, a previsão de demanda é construída com base na necessidade de materiais para o tempo previsto de execução de cada fase do projeto. Sendo assim, deve ser definida a estratégia de atendimento à demanda que melhor se adeque à capacidade de transporte, estocagem, e aos seus custos relacionados.

2.2 PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE

Planejamento e controle da capacidade é o processo de determinar a capacidade da operação, de modo que ela possa suprir a demanda. O que engloba decidir como a produção deverá reagir a flutuações na demanda. Estas mudanças influenciam em como a capacidade poderá mudar a curto, médio e longo prazo. Mudanças a longo prazo geralmente são incrementos ou reduções de grandes capacidades físicas. Já as mudanças a curto e médio prazo são fatores que envolvem avaliações futuras de 2 a 18 meses, ou durante o tempo em que a produção pode variar (SLACK, 2002).

A capacidade de operação está associada ao nível máximo das atividades que agregam valor, que a produção tenha capacidade de atender em condições normais em um determinado período de tempo. Logo conhecer sua capacidade, os limites e possíveis fatores que influenciam a produção de curto a longo prazo, é muito importante para se construir um planejamento agregado adequado (SLACK e LEWIS, 2009).

Segundo Sipper e Bulfin (1997), o cálculo de capacidade da operação deve ser feito antes da construção do planejamento agregado, o cálculo é um importante *input* para o planejamento estratégico, bem como, no nível de planejamento agregado. As modificações de capacidade não programadas tendem a ser menores quando comparadas a nível de planejamento de capacidade.

A capacidade de operação define a escala geral, o número e o tamanho das operações onde a capacidade está distribuída. As decisões de como mudar cada um destes aspectos caso seja necessário mudança, também é parte do planejamento da capacidade, assim como se esta mudança será rápida ou grande. A determinação da capacidade da operação deve considerar o nível de incerteza da demanda e a estratégia de resposta, podendo a média da demanda no longo prazo ser maior ou menor que a do curto prazo. Neste caso, é dever da organização definir qual política atrai maior custo-benefício para o seu negócio.

Os autores ainda complementam que são três as estratégias mais comuns de variação da capacidade no atendimento da demanda. São elas: política de capacidade constante, política de ajuste da produção e política mista.

2.2.1 POLÍTICA DE CAPACIDADE CONSTANTE

Nesta política a capacidade de processamento é mantida constante independentemente das flutuações consideradas na previsão de demanda. Ou seja, o número de pessoas que opera um processo, deve ser capaz de produzir o mesmo valor/quantidade por período, produtos que podem ser transferidos e armazenados para serem vendidos posteriormente. Um contra ponto desta política é que a produção deve se ser escolher o que produzir para estocar e o que produzir para se vender imediatamente. Logo esta política é mais indicada onde o produto será vendido futuramente sem ser afetado por uma mudança no mercado, ou que tenha uma certa data de validade como alimentos ou remédios. Como é dado no exemplo da Figura 3, onde tem-se o exemplo de uma empresa de malhas de lã, que mantem sua produção constante, formando estoques antecipando a produção para uma demanda futura (SLACK, 2002).

Figura 3- Políticas de capacidade constante que usam a formação de estoques.

Fonte 3: Adaptado de Slack (2002).

Como explicado acima, ocorre a formação de estoques, uma vez que é utilizada a capacidade total da operação, garantindo um maior atendimento à demanda e satisfação do cliente pelo retorno no tempo esperado. Entretanto, uma das desvantagens desta política são os custos de armazenagem, o capital imobilizado e os riscos associados a obsolescência ou a perecibilidade tendem a tornar esta política menos atrativa.

2.2.2 POLÍTICA DE AJUSTE DA CAPACIDADE

A política de ajuste da capacidade tenta ajustar a capacidade próxima aos níveis de variação da demanda. O que é mais difícil de conseguir em comparação a política de capacidade constante, uma vez que existem diversos fatores que podem afetar a produção. Como a variação da quantidade de pessoas na produção, diferentes horas de trabalho e equipamentos podem ser necessários em cada período de produção. Logo, para este caso, a capacidade total de produção seria usada apenas ocasionalmente. Esta política é mais usada em casos de operações que não podem estocar suas produções, como operações de processamento de cliente e produções de produtos com prazo de validade. Um exemplo é dado na Figura 4, onde a produção é ajustada para se manter em certo limite em diferentes épocas do ano (SLACK, 2002).

Figura 4- Política de ajuste da produção.

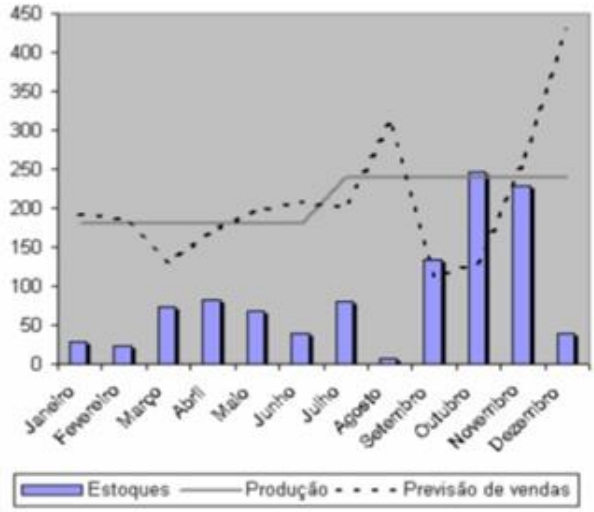
Fonte 4: Adaptado de Slack (2002).

Nesta política é essencial ajustar a capacidade variando as jornadas de trabalho, mantendo os períodos mais extensos durante maiores produções e reduzindo o pessoal em períodos de menor produção. Em períodos de alta demanda, contratar funcionários terceirizados pode ajudar a atender a demanda, porém isso terá custos.

2.2.3 POLÍTICA MISTA

Cada uma das políticas anteriores só é aplicada caso ela apresente mais vantagens do que desvantagens, e seja mais atraente que a outra política. O que não representa o cenário real, pois para a maior parte das empresas, usar apenas uma ou outra política não atende aos objetivos propostos pelo planejamento. Na maior parte dos casos, em certas épocas é preciso reduzir custos e estoques, reduzindo o investimento, mas mantendo uma produção que possa atender as necessidades dos clientes, motivo que leva a maioria das empresas escolhem este tipo de política para se trabalhar. A empresa pode escolher mudar o pico da demanda para outros períodos, ajustando a capacidade de produção em outros períodos definidos e mantendo a capacidade constante em outros, evitando a formação de estoques. Um exemplo desta política é mostrado na Figura 5 (SLACK, 2002).

Figura 5- Política mista.



Fonte 5: Adaptado de Georges (2014)

No caso deste estudo, a capacidade da operação está relacionada à disponibilidade de carretas e a capacidade de carga de cada modelo ofertado pela empresa de transportes para a entrega dos blocos. Considerando que não ocorrerá a formação de grandes estoques do material no canteiro de obras e a disponibilidade da empresa terceira em oferecer um quantitativo de veículos variável o longo do período, a política de capacidade que mais se adequa é a política de ajuste da capacidade.

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO

A construção civil estudada neste trabalho, teve em seu planejamento a expectativa de entregar em 01 ano um empreendimento composto de 02 torres e 306 apartamentos no total, localizado na cidade de Juiz de Fora, estado de Minas Gerais.

Na construção de um empreendimento deste porte, dentre diversos materiais utilizados, são necessários blocos do tipo cerâmico estrutural com resistência à compressão que varia de 14MPa (blocos da base) à 6MPa (blocos do topo do edifício).

Para garantir baixos custos de aquisição e um material que atenda aos requisitos técnicos especificados no projeto, é necessário trabalhar com fornecedores locais ou em cidades vizinhas, de modo a evitar gastos elevados no transporte e facilitar o processo de logística do material.

No entanto, logo nas fases iniciais, foi identificado que para os blocos da base, o fornecedor mais próximo e com o menor orçamento, encontrava-se na cidade de Elias Fausto, no estado de São Paulo, a aproximadamente 600km do local de construção do edifício.

O preço deste material é o mais atraente, entretanto, os custos relacionados à contratação de uma empresa para o transporte do material, apresentou um gasto muito elevado em virtude do número médio de viagens, que seriam necessárias para o transporte de todo o material. Outra dificuldade encontrada na previsão correto do número de viagens tendo em vista os vários quesitos existentes no problema.

3.1. IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS DO PROBLEMA

Este trabalho foi dividido em três partes:

- Limitações do fornecedor;
- Limitações do canteiro de obra;
- Demanda de blocos.

3.1.1. LIMITAÇÕES DO FORNECEDOR

Dentro de limitações do fornecedor, destacam-se as diferentes capacidades de peso e dimensão de carroceria da frota de carretas disponíveis para realizar o transporte dos blocos, conforme pode ser visto na Quadro 1:

Quadro 1 - Padrões de capacidade da frota de carretas do fornecedor.

Tipo	Capacidade de carga total da carreta (toneladas)	Comprimento da carroceria (metros)	Largura da Carroceria (metros)
1	25	13,5	2,4
2	25	14	2,4
3	32	12,4	2,4
4	32	15,9	2,4
5	34	13,5	2,4
6	34	14	2,4

Fonte 6: Própria.

Outras restrições ligadas ao transporte do fornecedor, são em relação à altura da carga em transporte, que não pode ser superior a 2,20m (podendo haver um palete sobre o outro), ao peso total da carga, que tem uma limitação de 1ton abaixo da capacidade de carga da carreta, de modo a evitar multa por excesso de peso em dias chuvosos. Os blocos são transportados sem lona ou qualquer outro tipo de proteção superior, este tipo de material ao ter contato com a água da chuva, absorvem água e aumentam seu volume. Em virtude desta variação no volume, a folga de 1t é suficiente para garantir estas possíveis variações no peso e tamanho.

Após algumas rodadas de negociação com a empresa de transporte, ficou pré-definido o valor de R$3.800,00 por viagem realizada pela carreta com capacidade de carga total de 32t, e valores proporcionais em relação à capacidade para a de 25ton e 34ton ($2.968,75 e R$4.037,50, respectivamente).

Se tratando de uma frota de veículos não extensa, o fornecedor não poderia disponibilizar um mesmo tipo de carreta para todo o transporte, ou mesmo, determinar quais carretas estariam disponíveis nos dias de entrega planejados. Portanto, para fins de cálculos e definição do modelo, considerou-se que todos os diferentes tipos de carretas da Tabela 1 foram utilizadas pelo menos três vezes cada uma, garantindo assim uma previsão de entrega próxima e dimensionada para a realidade.

3.1.2. LIMITAÇÕES DO CANTEIRO DE OBRAS

Um ponto crítico para a elaboração do projeto foi a área de circulação e armazenagem de materiais. Para uma construção deste porte, são necessários espaços que permitam o trânsito de caminhões e maquinários de grande porte.

Nesta área também há necessidade de espaços para uma sede administrativa, refeitório, vestiário, almoxarifado e áreas ao longo do canteiro para armazenar os insumos da construção, como vigas de aço, madeira, pedras (mármore, ardósia), blocos, dentre outros.

A área disponível para armazenamento dos blocos foi calculada com base no tamanho padrão do palete oferecido pelo fornecedor dos blocos, com dimensões de 1,00m x 1,20m x 0,14m (largura x comprimento x altura) e peso aproximado de 20kg. Para este padrão, a área disponível no canteiro comportava até 30 paletes colocados lado a lado, formando 2 fileiras de 15 unidades cada, e altura da carga de até 2,20m (podendo haver um palete sobre o outro), de modo a manter a segurança dos colaboradores da construção e estar dentro dos parâmetros determinados pela segurança do trabalho e especificações do fornecedor.

Para a retirada dos blocos da carreta, movimentação e armazenamento no canteiro, a obra contava com o apoio de uma grua -uma espécie de guindaste que permite a movimentação de cargas na direção vertical e horizontal, com diferentes capacidades na elevação de carga de acordo com o raio de alcance do material. Quanto mais distante o material estivesse do eixo central do equipamento, menor a sua capacidade de elevação de peso.

Na posição em que a grua se encontrava, para a retirada dos blocos da carreta seria necessário atingir o seu raio de alcance máximo, com uma capacidade de carga máxima de 1ton, limitando assim o número de blocos por palete, além da altura mencionada no item anterior.

3.1.3. DEMANDA POR BLOCOS

Na construção da base das torres são necessários 6 tipos diferentes de blocos, de acordo com o seu formato e aplicação, mantendo a necessidade de uma resistência à compressão de 14 MPa. Na Quadro 2 é apresentado os quantitativos totais planejados para atender a construção dos primeiros pavimentos da torre 1, e na Quadro 3 os quantitativos da torre 2 respectivamente com base em cada tipo de bloco:

Quadro 2- Quantitativo de blocos cerâmicos parede maciça da Torre 01 em unidades.

QUANTITATIVO DE BLOCOS CERÂMICO ESTRUTURAL - TORRE 01						
Pvto	Meio Bloco 14x14x19cm	Bloco Padrão 14x29x19cm	Bloco de Canto 14x34x19cm	Bloco de Cruzamento 14x44x19cm	Complemento 14x4x19cm	Caneleta Padrão 14x29x19cm
1	741	9.701	305	529	342	1.892
2	660	10.350	293	510	331	1.102
3	660	10.350	293	510	331	1.102
4	660	10.350	293	510	331	1.102
Total	2.721	40.751	1.184	2.059	1.335	5.198

Fonte 7: Própria.

Quadro 3- Quantitativo de blocos cerâmicos parede maciça da Torre 02 em unidades.

QUANTITATIVO DE BLOCOS CERÂMICO ESTRUTURAL - TORRE 02						
Pvto	Meio Bloco 14x14x19cm	Bloco Padrão 14x29x19cm	Bloco de Canto 14x34x19cm	Bloco de Cruzamento 14x44x19cm	Complemento 14x4x19cm	Caneleta Padrão 14x29x19cm
1	520	7.282	386	342	274	1.548
2	975	13.804	527	672	534	2.850
3	986	14.158	534	701	528	2.978
4	986	14.158	534	701	528	2.978
5	986	14.158	534	701	528	2.978
Total	4.453	63.560	2.515	3.117	2.392	13.332

Fonte 8: Própria.

No cronograma, previu-se a construção total dos pavimentos das duas torres em 5 semanas, com jornadas de trabalho de segunda à sexta-feira, de 07 às 17h, pausa de 1h para almoço, podendo ocorrer horas extras para atendimento do prazo. A distribuição dos pavimentos construídos por semana se deu conforme a Quadro 4:

Quadro 4 - Demanda semanal por blocos 14 Mpa em unidades.

DEMANDA SEMANAL POR BLOCOS						
Pvto	**Meio Bloco 14x14x19cm**	**Bloco Padrão 14x29x19cm**	**Bloco de Canto 14x34x19cm**	**Bloco de Cruzamento 14x44x19cm**	**Complemento 14x4x19cm**	**Caneleta Padrão 14x29x19cm**
1	1.274	17.153	698	880	622	3.474
2	1.651	24.396	828	1.194	874	3.992
3	1.662	24.753	835	1.223	868	4.121
4	1.662	24.753	835	1.223	868	4.121
5	996	14.300	539	708	533	3.008
Total	7.246	105.354	3.736	5.228	3.764	18.715

Fonte 9: Própria.

3.2. DEFINIÇÃO DO MODELO

A modelagem do problema de programação inteira tem início na escolha do objetivo de otimização. Considerando que o foco deste trabalho é dimensionar os gastos com viagens para que se consiga atender à demanda, levando em conta as restrições impostas pelo estudo, o objetivo de otimização pode ser definido como sendo a redução do custo de frete.

Desta forma, o custo (C) de cada viagem e o número de viagens (X), são as variáveis de decisão do problema. Dado que o problema envolve 6 tipos diferentes de carretas, a letra “j” representou o veículo em questão, assumindo, portanto, valores que variam de 1 a 6. Logo a função objetivo (Z) é descrita por:

$$MIN\ Z = \sum_{j=1}^{n} C_j X_j \tag{1}$$

Para elaboração das relações matemáticas das restrições, a “i” representa o tipo de bloco tratado, fazendo referência conforme a Quadro 5:

Quadro 5- Referência numérica ao tipo de bloco.

I	Tipo de Bloco
1	Meio bloco
2	Bloco padrão
3	Bloco de canto
4	Bloco de cruzamento
5	Complemento

6	Canaleta padrão

Fonte 10: Própria.

Tendo em vista que as limitações do canteiro descritas anteriormente tratam da unidade "palete" em detrimento da unidade "blocos", foi calculado o quantitativo de blocos para cada tipo que é comportado no modelo padrão de palete, em respeito à altura máxima de transporte na carreta e o limite de peso de 1 Ton suportado pela grua para elevação da carga. De posse deste quantitativo, a demanda também que é quantificada em número de blocos passou a ser definida em paletes, conforme descrito na Quadro 6:

Quadro 6 - Limite de blocos e demanda quantificada em paletes. Fonte: própria.

i	**Tipo de Bloco**	**Limite de blocos por palete**	**Demanda total por paletes**
1	Meio bloco	238	30,45
2	Bloco padrão	136	774,66
3	Bloco de canto	111	33,66
4	Bloco de cruzamento	90	58,09
5	Complemento	800	4,71
6	Canaleta padrão	175	106,94

Fonte 11: Própria.

É chamado de Y_{ij} a quantidade de paletes de blocos do tipo "i" na carreta do tipo "j", e de D_i a demanda por paletes de blocos do tipo "i". Desta forma, o conjunto de restrições associados ao atendimento da demanda por ser descrito por:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} Y_{ij} \geq D_i \tag{2}$$

Para o conjunto de restrições de limitam o quantitativo de paletes pela dimensão da carroceria e capacidade de carga de cada carreta, é calculado o limite de paletes por tipo de caminhão, Quadro 7, considerando folga de 1t como forma de prevenir o aumento de peso em dias chuvosos:

Quadro 7 - Limite de paletes por carreta.

Tipo	**Capacidade de carga (Ton)**	**Comprimento da carroceria (metros)**	**Largura da carroceria (metros)**	**Limite de paletes de 1 Ton**
1	25	13,5	2,4	24
2	25	14	2,4	24
3	32	12,4	2,4	31
4	32	15,9	2,4	31
5	34	13,5	2,4	33
6	34	14	2,4	33

Fonte 12: Própria.

Calculado o limite de paletes de 1t por carreta, o conjunto das restrições é definido de forma análoga às restrições anteriores, porém, em cada linha de restrição será avaliado a quantidade de paletes de cada tipo de bloco que é comportada em um tipo de carreta. É chamado de L_j o limite de paletes de 1t na carreta do tipo "j". Sendo assim:

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} Y_{ij} \leq X_j L_j \tag{3}$$

É dito também na construção do problema que o número mínimo de viagens deve ser maior ou igual a 3 para cada tipo de carreta, e que o número de viagens deve pertencer ao conjunto dos números inteiros, dada a impossibilidade de se contratar parcial. Desta forma:

$$X_j \geq 3 \tag{4}$$

$$X_j \in Z \tag{5}$$

Reunindo os dados para construção do modelo inicial, tem-se que:

- Função objetivo:

$$MIN\ Z = \sum_{j=1}^{n} C_j X_j \tag{1}$$

- Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} Y_{ij} \geq D_i \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} Y_{ij} \leq X_j L_j \tag{3}$$

$$X_j \geq 3 \tag{4}$$

$$X_j \in Z \tag{5}$$

Resolvendo o modelo por meio da solução computacional com o uso do *software* LINGO, os resultados obtidos foram inseridos na Quadro 8 e 9:

Quadro 8 - Resultados da modelagem.

Tipo de carreta	**Quantidade necessária**	**Custo do frete por carreta**
X1	3	R$ 2.968,75
X2	3	R$ 2.968,75
X3	10	R$ 3.800,00
X4	3	R$ 3.800,00
X5	5	R$ 4.037,50
X6	9	R$ 4.037,50
Total de carretas	33	
Custo total com frete	R$ 123.737,50	

Fonte 13: Própria.

Quadro 9 - Composição das carretas.

Yij	**Qnt.**	**Yij**	**Qnt.**	**Yij**	**Qnt.**	**Yij**	**Qnt.**	**Yij**	**Qnt.**	**Yij**	**Qnt.**
Y11	0,00	Y21	72,00	Y31	0,00	Y41	0,00	Y51	0,00	Y61	0,00
Y12	0,00	Y22	72,00	Y32	0,00	Y42	0,00	Y52	0,00	Y62	0,00
Y13	0,00	Y23	251,92	Y33	0,00	Y43	58,09	Y53	0,00	Y63	0,00
Y14	0,00	Y24	93,00	Y34	0,00	Y44	0,00	Y54	0,00	Y64	0,00
Y15	30,45	Y25	100,40	Y35	33,66	Y45	0,00	Y55	0,00	Y65	0,00
Y16	0,00	Y26	185,35	Y36	0,00	Y46	0,00	Y56	4,71	Y66	106,94

Fonte 14: Própria.

Analisando os resultados obtidos na Tabela 9, concluiu-se que a solução ótima propõe a composição final das carretas de tal modo que:

- 3 carretas do Tipo 1 (j=1) somadas transportem:
    - 72 paletes do bloco Tipo 2 (i=2)
- 3 carretas do Tipo 2 (j=2) somadas transportem:
    - 72 paletes do bloco Tipo 2 (i=2)
- 10 carretas do Tipo 3 (j=3) somadas transportem:
    - 251,92 paletes do bloco Tipo 2 (i=2)
    - 58,09 paletes do bloco Tipo 4 (i=4)
- 3 carretas do Tipo 4 (j=4) somadas transportem:
    - 93 paletes do bloco Tipo 2 (i=2)
- 5 carretas do Tipo 5 (j=5) somadas transportem:
    - 30,45 paletes do bloco Tipo 1 (i=1)
    - 100,40 paletes do bloco Tipo 2 (i=2)
    - 33,66 paletes do bloco Tipo 3 (i=3)
- 9 carretas do Tipo 6 (j=6) somadas transportem:
    - 185,35 paletes do bloco Tipo 2 (i=2)
    - 4,71 paletes do bloco Tipo 5 (i=5)
    - 106,94 paletes do bloco Tipo 6 (i=6)

4. CONCLUSÃO

A construção civil é um mercado muito importante para o desenvolvimento da economia brasileira. Logo usar de um planejamento otimizado por meio de um modelo de programação linear, torna o processo mais eficiente, enxuto e viável economicamente.

O caso da construção analisada neste estudo, mostrou 3 pontos críticos que foram considerados:

- As limitações do fornecedor de materiais, que se davam em virtude da diferença entre os tipos e disponibilidade diária de caminhões que a empresa possuía para realização das entregas;
- O espaço no canteiro de obras, que precisava obedecer às diversas regras de segurança, além de ser organizado de maneira otimizada para o livre transporte e armazenamento dos blocos;
- E por último a demanda por blocos, que possuam diversos tamanhos e maneiras diferentes de serem armazenados.

Quanto as limitações do fornecedor, foi determinado quais seriam as carretas usadas e suas respectivas capacidades, de maneira a manter a entrega de suprimentos constante e dentro dos prazos. Cada tipo de carreta foi usada ao menos 3 vezes com valor de frete variando entre $2.968,75 e R$4.037,50 respectivamente.

O espaço do canteiro de obras foi dividido de maneira a garantir os espaços para os setores administrativos da obra, assim como refeitório e outras áreas de funcionamento. A área de armazenamento foi calculada com base no tamanho padrão do palete para se armazenar os blocos, mantendo-os organizados e seguros.

A demanda por blocos foi calculada com base em programação linear, determinando-se o custo de cada viagem e as quantidades de cada viagem. Cada tipo de bloco foi identificado e colocado como variável, e foi calculado a quantidade de paletes necessário para armazenar cada tipo de bloco. Assim como também com cada tipo de bloco e suas quantidades afetam na capacidade de carga de cada tipo de caminhão.

Com todas essas informações definidas, pode-se calcular a quantidade de viagens necessárias, assim como a quantidade total de blocos e o valor total de toda a demanda por blocos.

Neste trabalho foi possível dimensionar de maneira eficiente e clara a demanda total por blocos de uma construção de duas torres e 306 apartamentos. Com o modelo de otimização, o cálculo de demanda para obras se torna mais enxuto e eficiente. Podendo ser aplicado e melhorado para outras construções com menos limitações de logística e maior variedade de insumos para construção. Organizando todas as variáveis de maneira que possa ser calculado a demanda total e seu custo, os custos totais e tempo de construção podem ser simplificados, possibilitando uma previsão mais precisa para casos mais complexos.

REFERÊNCIAS

AVILA, Antônio Victorino. LIBRELOTTO, Liziane Ilha. LOPES, Oscar Ciro. **Orçamento de obras – construção civil**. Universidade do Sul de Santa Catarina: Florianópolis, 2003.

BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello. MAGALHÃES, Rachel Madeira. MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito. **Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no rio de janeiro**. Universidade Federal Fluminense: Niterói, 2015.

CARVALHO, Fátima Marília Andrade de. TEIXEIRA, Luciene Pires. **A construção civil como instrumento de desenvolvimento da economia brasileira**. Revista Paranaense de Desenvolvimento, nº 109, 2005, p. 9-26.

CHAPMAN, Stephen N. **The Fundamentals of Production Planning and Control.** 1. ed. Nova Jersey: Pearson Prentice Hall, 2006.

CHIAVENATO, Idalberto. **Planejamento e controle da produção**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2008.

CIBIC. Resultados do PIB Brasil e da construção no 1º trimestre surpreendem. Disponível em: <https://cbic.org.br/resultados-do-pib-brasil-e-da-construcao-no-1o-trimestre-surpreendem/#:~:text=J%C3%A1%20o%20PIB%20da%20constru%C3%A7%C3%A3o,do%20setor%20na%20economia%20nacional>. Acesso em 10 de julho de 2021.

FERNANDES, Flávio Cesar Faria. GODINHO FILHO, Moacir. **Planejamento e controle da produção: dos fundamentos ao essencial**. 1. ed. São Paulo: Atlas S.A., 2010.

G1. **Como a construção civil movimenta a economia e gera empregos**. Disponível em: <https://g1.globo.com/especial-publicitario/em-movimento/noticia/como-a-construcao-civil-movimenta-a-economia-e-gera-empregos.ghtml>. Acesso em 14 jun 2019.

G1. **Minha casa minha vida completa 10 anos com queda nas contratações**. Disponível em: < https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/03/25/minha-casa-minha-vida-completa-10-anos-com-queda-nas-contratacoes.ghtml >. Acesso em 14 jun 2019.

G1. **Porque o brasil precisa da construção civil para voltar a crescer**. Disponível em: <https://g1.globo.com/especial-publicitario/em-movimento/noticia/por-que-o-brasil-precisa-da-construcao-civil-para-voltar-a-crescer.ghtml>. Acesso em 14 jun 2019.

GEORGES, Marcos. **Planejamento e controle da capacidade**. Disponível em < https://slideplayer.com.br/slide/1701511/>. Acesso em 15 set 2019.

LOBO, Renato Nogueirol. SILVA, Damião Limeira da. **Planejamento e controle da produção**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.

NAHMIAS, Steven. **Production and operations analysis**. 6. ed. Asia: McGraw-Hill Education (Asia), 2009.

NANCI, Luiz Cesar; QUELHAS, Osvaldo L. G.; CARVALHO, Rogério Atem de; SIMÃO, Victor Gomes. *O PCP no contexto estratégico.* In: LUSTOSA et. al. **Planejamento e controle da produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008, p. 5-16.

SILVA, T. C. R., & Alencar, M. H. (2013). **Gestão De Riscos Na Indústria Da Construção Civil : Proposição De Uso Integrado De Metodologias**. Xxxiii Encontro Nacional De Engenharia De Producao, 1–12.

SILVA, R. R. da, Soares, C. M. da S., Aguiar, A. O. de, Gomes, D. da S., Martins, G. A. de S., & Da Silva, W. G. (2019). **Uso Da Programação Linear Na Otimização De Processos Dentro Da Indústria De Alimentos**. DESAFIOS - Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins, 6(Especial), 24–30.

SIPPER, Daniel; BULFIN JR. **Production: planning, control and integration**. Estados Unidos: The McGraw-Hill Companies, 1997.

SLACK, Nigel; LEWIS, Michael. **Estratégia de operações**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SLACK, Nigel. CHAMBERS, Stuart. JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, audiovisual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 10 de setembro de 2021.

HIAGO CAPOBIANGO MALTA	201849007
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
ASSINATURA	112.757.226-10
	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.