

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO CAMPUS MACAÉ**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**PAULO LAMORI NETO**

**PLANEJAMENTO LOGÍSTICO DE CANTEIRO DE OBRAS EM SISTEMAS**  
**PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO EM MACAÉ-RJ**

**MACAÉ/RJ**  
**2021**  
**PAULO LAMORI NETO**

**PLANEJAMENTO LOGÍSTICO DE CANTEIRO DE OBRAS EM SISTEMAS  
PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO EM MACAÉ-RJ**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal do Rio  
de Janeiro Campus Macaé, como  
requisito parcial para obtenção do  
grau de Engenheiro Civil.**

**Orientador: Professora Doutora  
Monique Amaro de Freitas Rocha  
Nascimento**

**MACAÉ/RJ**

**2021**

### CIP - Catalogação na Publicação

LLAMOR Lamori Neto, Paulo  
I PLANEJAMENTO LOGÍSTICO DE CANTEIRO DE OBRAS EM  
NETO, SISTEMAS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO EM MACAÉ-RJ / Paulo  
Paulop Lamori Neto. -- Rio de Janeiro, 2021.  
86 f.

Orientadora: Monique Amaro de Freitas Rocha  
Nascimento.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus  
Macaé Professor Aloísio Teixeira, Bacharel em  
Engenharia Civil, 2021.

1. Planejamento logístico. 2. Layout de canteiro.  
3. Pré-moldados. I. Nascimento, Monique Amaro de  
Freitas Rocha , orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

**PAULO LAMORI NETO**

**PLANEJAMENTO LOGÍSTICO DE CANTEIRO DE OBRAS EM SISTEMAS  
PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO EM MACAÉ-RJ**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal do Rio  
de Janeiro Campus Macaé, como  
requisito parcial para obtenção do  
grau de Engenheiro Civil.**

**Orientador: Professora Doutora  
Monique Amaro de Freitas Rocha  
Nascimento.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Me. Leandro Tomaz Knopp, (UFRJ)**

---

**Prof. Esp. Jose Nolasco de Carvalho Neto, (UFRJ)**

**Aprovado em 22 de Outubro de 2021.**

**Dedico este trabalho ao meu avô (*in memoriam*), Paulo Lamori, por ser exemplo de dedicação aos estudos e à busca pelo conhecimento.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos professores e colegas que contribuíram para meu crescimento, mesmo que indiretamente, e fizeram desta graduação uma excelente jornada de formação.

Agradeço aos meus amigos e familiares que sempre me apoiaram e que, mesmo nos momentos de maior dificuldade, nunca me deixaram desistir.

Agradeço a Thor e Nikita, fiéis companheiros e sempre presentes independentemente das circunstâncias.

Por fim, agradeço à minha mãe, que teve paciência e garra para fornecer as melhores condições possíveis para que eu pudesse concluir essa jornada até aqui. Certamente sem seu carinho, apoio e incentivo isso não seria possível.

Obrigado.

“O bambu que se curva é mais forte que o carvalho que resiste”

-Provérbio Japonês

## RESUMO

Amplamente utilizadas na construção civil, as ferramentas digitais de apoio à gestão, em sistemas pré-moldados com uso de protensão, permitem o entendimento e visualização de todo ciclo de vida do projeto de construção. O uso de ferramentas de gestão nos canteiros de obra em sistemas pré-moldados propõe uma abordagem singular, onde as informações relacionadas ao processo de gestão de instalações, proporcionam um impacto considerável nas metas e na otimização do trabalho por meio da análise de cadeias de suprimento. Além disso, apoiam o planejamento e controle da produção e auxiliam na tomada de decisões, seguindo os princípios da construção enxuta, modificando a confiabilidade de prazo, qualidade, custo e segurança. O uso de ferramentas digitais em canteiros de obra de sistemas pré-moldados de fabricação pode ser verificado em gestão de operações, planejamento estratégico das etapas de construção, aquisição, estoque e transporte de materiais e verificação de conflitos espaciais das frentes de trabalho no canteiro de obras. Este trabalho de conclusão de curso propõe diretrizes para o planejamento e controle logístico para o canteiro de obras em sistemas construtivos pré-moldados em concreto para construção de um galpão, utilizando ferramentas digitais.

Palavras-Chave: Planejamento logístico; Layout de canteiro; Pré-moldados.

## **ABSTRACT**

Widely used in civil construction, digital management support tools, in precast systems with the use of prestressing, allow the understanding and visualization of the entire life cycle of the construction project. The use of management tools at construction sites in precast systems proposes a unique approach, where information related to the facility management process provides a considerable impact on goals and work optimization through supply chain analysis. In addition, they support production planning and control and assist in decision-making, following the principles of lean construction, modifying deadline reliability, quality, cost and safety. The use of digital tools on construction sites of precast manufacturing systems can be verified in operations management, strategic planning of the stages of construction, acquisition, inventory and transport of materials and verification of spatial conflicts of the work fronts at the construction site. This course conclusion work proposes guidelines for planning and logistical control for the construction site in precast concrete construction systems for the construction of a shed, using digital tools.

Keywords: Logistics planning; Site layout; Precast.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM - *Building Information Modeling*;

CAD - *Computer-Aided Design*;

LC - *Lean Construction*;

LCI - *Lean Construction Institute*;

LP - *Last Planner*;

LPS - *Last Planner System*;

NR - Norma Regulamentadora;

PSP - Projeto do Sistema de Produção;

STP - Sistema Toyota de Produção;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de processo da <i>Lean Construction</i>	25
Figura 2 - <i>Layouts</i> por Variedade x Volume	36
Figura 3 - Galpão de estruturas pré-moldadas	41
Figura 4 - Esquema de uma pista de protensão típica	41
Figura 5 - Interface do <i>software</i> AutoCAD	43
Figura 6 - Seções típicas de pré-moldados em concreto protendido	49
Figura 7 - Expansão de galpão com estruturas pré-moldadas	50
Figura 8 - Detalhe dos novos pilares	51
Figura 9 - Planta baixa da expansão do galpão	52
Figura 10 - Vista lateral do galpão	52
Figura 11 - Vista frontal do galpão	53
Figura 12 - Planta de localização do empreendimento	55
Figura 13 - Cabeceira ativa da pista de protensão	56
Figura 14 - Base da pista de protensão das tesouras	57
Figura 15 - Concretagem da base das formas de pilar	57
Figura 16 - Base da forma concretada e nivelada	58
Figura 17 - Formas de pilares em madeira	58
Figura 18 - Transporte da armadura para a forma	59
Figura 19 - Pilares concretados	59
Figura 20 - Montagem da armadura da tesoura na forma	60
Figura 21 - Concretagem de terças em pista de protensão	61
Figura 22 - Processo de desforma de tesoura protendida	62
Figura 23 - Áreas de estoque de tesouras e ligação pilar-fundação	63
Figura 24 - Interface do <i>software</i> MS Project	65
Figura 25 - Instalações provisórias	67
Figura 26 - Proposta de <i>layout</i> para o canteiro de obras	68
Figura 27 - Proposta de instalações provisórias	69

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Tipos de canteiro

38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível hierárquico de atividades

66

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2 JUSTIFICATIVA	16
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 Geral	18
1.3.2 Específicos	18
1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	18
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>19</b>
2.1 LEAN PRODUCTION	19
2.1.1 Lean Production e gestão de projetos	19
2.1.2 Gestão de projetos de construção	21
2.1.3 Controle da programação e Just-in-time	22
2.1.4 Logística	23
2.2 LEAN CONSTRUCTION	25
2.2.1 Princípios básicos da Lean Construction	27
2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DO LAYOUT DE CANTEIRO DE OBRAS	32
2.3.1 Princípios do layout	32
2.3.2 Tipos de layout	35
2.3.3 Last Planner System	36
2.3.4 Planejamento de layout de canteiro de obras	38
2.3.5 Planejamento e controle logístico de sistemas pré-moldados	41
2.4 FERRAMENTAS DIGITAIS DE PLANEJAMENTO	44
2.4.1 AutoCAD	44
2.4.2 MS Project	46
2.4.4 Etapas para a definição dos lotes de montagem	49
<b>3. METODOLOGIA CIENTÍFICA</b>	<b>51</b>
3.1 Estratégia da pesquisa	51
3.2 Delineamento da pesquisa	52
3.2.1 Caracterização da empresa e do empreendimento	54
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>58</b>
4.1 Planejamento dos processos de produção e montagem	58
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>68</b>
5.1 Conclusão	68
5.2 Sugestão de trabalhos futuros	71
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>72</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O canteiro de obras pode ser definido como a área de trabalho fixa e temporária onde se desenvolvem as operações de apoio e execução de construção, demolição, montagem, instalação, manutenção ou reforma, segundo a descrição da Norma Regulamentadora (NR) 18 - Condições de Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção. Essa norma estabelece diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização, que objetivam a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção.

O contexto de gerenciamento das informações estimulado pela 4ª Revolução Industrial vem causando modificações e adequações de processos na indústria da construção civil. Devido ao elevado nível de incerteza do setor, torna-se cada vez mais necessário o tratamento dessas informações de forma a alcançar os objetivos de tempo, custo, qualidade e segurança dentro do ambiente construtivo.

A industrialização da construção pode ser entendida como uma forma de reduzir uma parcela de atividades envolvidas na construção dentro dos canteiros de obras, segundo Koskela (2003), permitindo a realização em um ambiente mais controlado (BALLARD; HOWELL, 1998a). No entanto, essa transferência de atividades resulta em demandas por melhorias na gestão da cadeia de suprimentos e de atividades logísticas (LESSING; STEHN; EKHOLM, 2005).

O advento de novas Tecnologias da Informação na Construção (TICs), como ferramentas CAD (*Computer-Aided Design*) proporciona uma atenção maior sobre esse tipo de tecnologia, buscando a implementação das ferramentas existentes e a combinação delas para um maior aproveitamento do sistema produtivo que estão inseridas. Assim, auxiliam no desenvolvimento e manutenção dos projetos, permitindo melhorias nos processos, como a extração de informações mais precisas sobre quantitativos, maior representatividade dos componentes envolvidos e a possibilidade de realizar análises melhores sobre a construção em qualquer fase (AGUILAR-MOLINA; AZEVEDO JUNIOR, 2015). O compartilhamento do conhecimento, através das ferramentas de gestão e modelagem, vem implementando a forma como todo o projeto é desenvolvido. Dessa forma, passando a ter maior complexidade na modelagem de plantas de acordo com os objetivos definidos de cada empreendimento,

passando por processos do canteiro de obras, processos de operação e manutenção, além de análises que possibilitam um desenvolvimento mais sustentável da edificação.

O conceito que hoje conhecemos como BIM - ou *Building Information Models* e *Building Information Modeling* - é um resultado do protótipo de trabalho, o "*Building Description System*", publicado no *Journal of the American Institute of Architects* por Charles M. "Chuck" Eastman, 1975. Esse conceito não se limita a um conjunto de programas de *softwares*, mas sim encarado como um processo (KENSEK, 2014). É inclusivo, pelo fato de envolver um grande grupo de partes interessadas, desde o design e construção até a operação e manutenção. O BIM promove integração e também pode melhorar os resultados financeiros, promovendo reduções nos custos do ciclo de vida e melhorias no cronograma de entregas e performance operacional. A construção de modelos de informação permite analisar os dados criados e reunidos durante o processo de design e construção e integrá-los aos sistemas de gestão (KENSEK, 2014). Dessa forma o BIM, além das ferramentas digitais, surge como uma nova proposta de gestão dos sistemas de planejamento da construção.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O uso de tecnologias e a industrialização dos processos para utilizar peças pré-moldadas de concreto na construção civil torna esse tipo de sistema construtivo cada vez mais competitivo dentro desse setor. Nesse contexto, os sistemas construtivos pré-moldados têm se mostrado vantajosos quando comparados aos sistemas tradicionais, pois utilizam materiais de baixo impacto, diminuem o desperdício e reduzem a quantidade de resíduos. Uma boa opção para os adeptos da construção sustentável e que procuram materiais de qualidade e durabilidade. Ainda apresentam redução de riscos e de funcionários no canteiro de obras, além de maior rapidez de produção e aumento da qualidade do produto final. Isso se deve ao fato de esse tipo de sistema atender a uma demanda de produtos específicos, faz necessária uma maior conexão entre o detalhamento de projeto, fabricação e montagem, visando a compatibilização, de forma a evitar interferências e a falta de correspondência, o que garante que os processos ocorram de maneira coordenada e com maior controle.

Segundo Skjelbred, Fossheim e Drevland (2015) o planejamento logístico do *layout*, ou leiaute, do canteiro e a alocação de recursos adequados, são essenciais para a eficiência de sistemas pré-fabricados. Li, Stephens e Ryba (2014) descreveram a implementação da modelagem baseada no tempo das atividades de um empreendimento que, com as ferramentas de visualização, permitiram o estudo dos fluxos de trabalho, além do

planejamento e controle da utilização dos espaços físicos de acordo com o trabalho a ser realizado. El-Rayes e Said (2010) estabelecem a logística na construção a partir da formação de dois módulos. O primeiro módulo, do fornecimento logístico, é caracterizado pelo planejamento do fornecimento de suprimentos, enquanto o segundo módulo, da logística do canteiro, referindo-se à gestão dos fluxos físicos e informações associados a execução das atividades, abrangendo o planejamento do leiaute do canteiro de obras, áreas de estoque e instalações temporárias. Neste cenário, com estabelecimento das diretrizes de segurança da Norma Regulamentadora No. 18 - Condições de Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção (NR-18), essas ferramentas surgem como apoio à gestão dos sistemas de produção baseado em ferramentas e podem ser utilizadas principalmente no canteiro de obras em empreendimentos da construção civil, aumentando assim a comunicação dos envolvidos no projeto, o que facilita a tomada de decisões.

Com objetivo de integrar os materiais utilizados aos processos de execução da construção torna-se necessário estabelecer um planejamento logístico precedente, de forma a evitar maior variabilidade e imprevisibilidade na execução do empreendimento, visando a organização do canteiro, segurança dos trabalhadores e produtividade. A falta de planejamento favorece o posicionamento impróprio de materiais em áreas de trabalho devido a compra; em quantidades incorretas ou na ordem errada, o que ocasiona o armazenamento incorreto, principalmente quando o estoque dos materiais dessa compra errada não foi planejado para aquela fase de obra e acaba sendo armazenado de forma incorreta no canteiro, podendo ocasionar perdas por acidentes, devido à falta de coordenação de rotas de distribuição de insumos e equipamentos com a circulação de pessoas dentro do canteiro de obras (HAWKINS, 2010). Segundo Oskouie *et al.*, (2012), o uso de ferramentas digitais no auxílio de desenvolvimento da logística do canteiro de obras permite a simulação de alternativas de trabalho para avaliar as opções e designar a melhor solução a ser implementada em uma obra.

As atividades relacionadas ao desenvolvimento da construção do empreendimento são modificadas de acordo com o avanço das operações. Da mesma maneira, a configuração logística de apoio a essas operações também é alterada, tornando o planejamento logístico do leiaute do canteiro de obras parte fundamental do progresso, reduzindo o tempo de transporte e repercutindo positivamente na produtividade (PAPADAKI; CHASSIAKOS, 2016). O potencial do uso de ferramentas baseadas em tempo, caracteriza-se pela possibilidade de visualização do encadeamento das atividades, permitindo a simulação de novas conjunturas viáveis antes da execução e os prováveis problemas logísticos associados (AKINCI *et al.*,

2002; CHAU *et al.*, 2004; HARTMANN *et al.*, 2008). Um canteiro que contém arranjo físico elaborado contribui para a otimização dos processos construtivos, cumprimento de prazos, redução de custos e, conseqüentemente, redução de desperdícios envolvidos nas construções, segundo Amaral (2020).

Compreendendo a capacidade de coordenação e controle da produção a partir de planejamento logístico, integrando as informações de interação entre as atividades executadas no canteiro de obras, como tempo, posicionamento espacial e insumos, torna-se conveniente um maior aprofundamento sobre a utilização de ferramentas digitais de planejamento e controle de obras em sistemas pré-moldados.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo geral uma proposta de planejamento e controle logístico de canteiro de obras aplicado aos sistemas pré-moldados de concreto com uso de ferramentas digitais.

#### 1.3.2 Específicos

- Propor configurações para o *layout* do canteiro de obras com AutoCAD.
- Implementar o planejamento e controle logístico dos processos de armazenamento e montagem com MS Project.
- Propor a integração entre a logística do canteiro de obras e o planejamento e controle da produção através do tratamento das informações.

### 1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Os estudos compreendidos neste trabalho foram desenvolvidos em empreendimentos de estruturas pré-moldadas de concreto, situados na cidade de Macaé/RJ. Diante desta delimitação, o modelo proposto e seus resultados não se aplicam de forma generalizada para outros tipos de empreendimento, mesmo dentro da conjuntura da construção civil.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 LEAN PRODUCTION

#### 2.1.1 *Lean Production* e gestão de projetos

A partir da metade do século XIX, com a grande alteração das estruturas econômicas, causada pela revolução industrial, e o conseqüente desenvolvimento do capitalismo industrial, foi possível constatar o aumento na complexidade dos empreendimentos e na gestão de novas estruturas. Em uma visão mecanicista dos princípios da administração científica, Frederick Taylor apontava a racionalização do trabalho, por meio da utilização de métodos científicos identificadores da maneira eficiente de se executar determinada atividade, que nada mais é que a divisão de função dos trabalhadores.

Os princípios fundamentais de Taylor são:

Princípio do Planejamento: Substituir os métodos empíricos por métodos científicos e testados.

Princípio da Seleção: Como o próprio nome diz, seleciona os trabalhadores para suas melhores aptidões e para isso são treinados e preparados para cada cargo.

Princípio de Controle: Supervisão feita por um superior para verificar se o trabalho está sendo executado como foi estabelecido.

Princípio de Execução: Para que haja uma organização no sistema as distribuições de responsabilidades devem existir para que o trabalho seja o mais disciplinado possível.

Na organização do trabalho Taylor propôs: Estudo da fadiga humana: a fadiga predispõe o trabalhador à diminuição da produtividade e perda de qualidade, acidentes, doenças e aumento da rotatividade de pessoal; Divisão do trabalho e especialização do operário; Análise do trabalho e estudo dos tempos e movimentos: cada um se especializar e desenvolver as atividades em que mais tivessem aptidões; Desenho de cargos e tarefas: desenhar cargos é especificar o conteúdo de tarefas de uma função, como executar e as relações com os demais cargos existentes; Incentivos salariais e prêmios por produtividade; Condições de trabalho: o conforto do operário e o ambiente físico ganham valor, não porque as pessoas merecessem, mas porque são essenciais para o ganho de produtividade; Padronização: aplicação de métodos científicos para obter a uniformidade e reduzir os custos; Supervisão funcional: os operários são supervisionados por supervisores especializados, e não por uma autoridade centralizada; Homem econômico: o homem é motivável por recompensas salariais, econômicas e materiais.

Dessa forma, foi criado o princípio de selecionar o melhor recurso para a atividade, seu provimento e controle de desempenho (FARIA, 2002). Assim, aplicando seus princípios na defesa do estudo de tempos e movimentos, de forma a analisar e padronizar as atividades a serem executadas através da observação e aferição detalhada com objetivo de aumentar a produtividade e buscar melhores formas de executá-las.

O aumento no tamanho e na complexidade dos projetos direcionaram a uma procura por ferramentas que pudessem ajudar no planejamento, tomada de decisões e controle das mais diferentes atividades que ocorrem simultaneamente durante o processo de execução de um empreendimento.

A origem da manufatura enxuta se deu em meio a um cenário de crise, onde as fábricas japonesas tiveram a necessidade de se adaptar em busca de inovações de forma a permitir a reconstrução do país após o período da Segunda Guerra Mundial. O Sistema Toyota de Produção (STP) foi aperfeiçoado nessa época com objetivo de otimizar a manufatura e manter um fluxo constante de vendas de seus automóveis, visando competir com os níveis de produtividade alcançados pelas montadoras norte-americanas, se tornando mais tarde em 1990 a base para o que viria a ser conhecido como *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta) no livro “A máquina que mudou o mundo” de James P. Womack, Daniel Roos e Daniel T. Jones. O pensamento *Lean* começa a ser utilizado fora do ambiente de fábrica, influenciando outros ramos da indústria. A partir da publicação do trabalho “*Application of the new production philosophy in the construction industry*” por Lauri Koskela (1992) sobre adaptação dos conceitos da Produção Enxuta (*Lean Production*) para a construção, foi possível estudar a aplicação de conceitos provenientes do STP na indústria da construção. Segundo Howell (2000), atividades como movimentação, inspeção, espera e retrabalho não agregam valor, ou seja, não transformam a matéria prima em produto final, não são consideradas pelo modelo tradicional de produção. Entretanto, exatamente por não agregarem valor, necessitam de maior atenção de forma a otimizar o processo como um todo (HOWELL, 2000).

Oriundo do Sistema Toyota de Produção, *Lean Production*, ou Produção Enxuta, é uma filosofia de gestão que tem como premissa o foco na redução dos sete tipos de desperdício (superprodução, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, estoque disponível, movimento e produtos defeituosos), dessa forma, utilizando menos recursos, proporcionando menos esforço, menos espaço, menos investimento, menos estoque resultando em menos defeitos e maior variedade de produtos, quando comparada à produção em massa (KOSKELA, 2002).

Mesmo com o início da implementação desta nova filosofia logo após o final da Segunda Guerra Mundial, o STP apenas começou a ter notabilidade com os obstáculos provenientes da crise do petróleo de 1973, com o embargo do petróleo árabe e o decorrente aumento radical do preço dos combustíveis, reduzindo as atividades econômicas do mundo. Desta forma, o novo sistema de produção da Toyota desenvolveu reconhecimento e estima com a sua metodologia de eliminação de desperdícios e foco nas necessidades do consumidor.

Com a Revolução Industrial, no final do século 19, houve uma grande necessidade de sistematizar e padronizar os processos de gestão de projetos. Nesse momento surgiram nomes como Henry Gantt (1861-1919), chamado de “o pai de técnicas do planejamento e do controle”, conhecido pelo uso gráfico ou diagrama que leva seu nome e que auxilia muito nas interpretações dos cronogramas. Além de Gantt, outro nome fundamental para criação de ferramentas gerenciais foi Frederick Winslow Taylor (1856-1915), com sua contribuição como precursor da WBS (Work Breakdown Structure) ou EAP (Estrutura Analítica do Projeto), que é um processo de subdivisão das entregas e do trabalho do projeto em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis. Sua estruturação é em árvore hierárquica, de mais geral para mais específica, orientada às entregas, fases de ciclo de vida ou por sub-projetos que precisam ser executadas para completar um projeto.

### 2.1.2 Gestão de projetos de construção

Um projeto de construção deve ser visto como composição de processos de fluxo, entre atividades que geram e as que não geram valor, onde os problemas mais agudos são causados pelo design tradicional, conceitos de produção e organização, ou as peculiaridades da construção. Assim, esses problemas requerem uma consideração especial e torna necessário o entendimento do sistema de produção da construção civil.

Segundo Koskela (1992), existem dois processos principais em um projeto de construção:

- Processo de desenvolvimento do projeto: é um refinamento em etapas das especificações onde as necessidades e desejos do cliente são transformados em requisitos, definindo assim um número variável de etapas, para projetos detalhados. Simultaneamente, este é um processo de detecção e solução de problemas antes da fase de execução, podendo ser divididos em subprocessos individuais e processos de suporte. Assim, são simuladas e analisadas as possíveis alternativas de execução com objetivo de definir a mais adequada para o projeto especificado com base no impacto no prazo final.

- Processo de construção: é composto por dois tipos diferentes de fluxos:
- Processo de material: consiste nos fluxos de material para o local, incluindo processamento e montagem no local.

- Processos de trabalho das equipes de construção. Os fluxos temporais e espaciais das equipes de construção no local estão frequentemente associadas ao processo de material.

Para um melhor planejamento logístico dos sistemas construtivos, principalmente do canteiro de obras, deve-se considerar, além dos processos especificados por Koskela (1992), a identificação de processos críticos, que representam gargalos no sistema de produção, podendo limitar a capacidade de produção do sistema como um todo. Esses processos são de extrema importância para o sistema produtivo e normalmente são responsáveis por uma maior demanda de tempo, esforço e dedicação do projeto de construção. Devido a esses fatores, podem ocasionar atrasos no cronograma e conseqüentemente maior custo no produto final do projeto. Uma forma de controlar os processos de produção de um empreendimento é por meio do uso de ferramentas de gestão, com objetivo de monitorar e tomar ações corretivas a partir de coleta e análise de dados.

A partir do projeto do sistema de produção (PSP), que busca traçar e descrever os processos a serem utilizados na produção, com foco nos sistemas construtivos, é possível determinar as etapas do processo tecnológico a ser utilizado; a escolha dos equipamentos; o projeto de construções e o *layout* das instalações; e a necessidade de pessoal, suas habilidades e o nível de supervisão (GAITHER; FRAZIER, 2001). O conhecimento dos processos de construção civil é parte essencial para um bom desenvolvimento do planejamento logístico do canteiro de obra. O monitoramento e controle do sequenciamento das atividades e todos recursos envolvidos em cada uma delas é peça chave para aumento da qualidade dos serviços e diminuição do tempo e de uso de insumos, traduzindo-se em uma produção cada vez mais enxuta, com maior confiabilidade nos processos e com fluxo ininterrupto das equipes de produção, através da sincronização entre os processos, principalmente àqueles considerados críticos para o sistema de produção.

Visando minorar os efeitos negativos que os processos críticos podem ocasionar no sistema de produção, torna-se essencial o uso de ferramentas para melhorar o desempenho da execução das atividades e auxiliar na identificação de possíveis problemas que podem ocorrer durante os processos, assim permitindo a tomada de decisões antecipadas de forma a melhorar os fluxos de produção do sistema construtivo.

### 2.1.3 Controle da programação e *Just-in-time*

Considerado um dos pilares do STP, dentre os princípios da produção enxuta, a filosofia *Just-in-time* (JIT) tem o objetivo de racionalizar a movimentação interna dos estoques, reduzir os custos e elevar em qualidade e quantidade a produção (FERNANDES *et al.*, 2001). Possui como essência atender apenas a demanda solicitada ao longo do processo, onde a produção passa a ser puxada e no fluxo de produção uma demanda interna atende à subsequente exatamente no momento e na quantidade necessária, até a entrega do produto final requisitado. Fundamentado na busca do emprego preciso de recursos materiais, humanos e financeiros, para a produção de determinado produto com vistas à minimização e, posteriormente, à eliminação do desperdício (FERNANDES *et al.*, 2001).

Envolvendo todas as áreas da construção civil, desde aquisição, fornecimento, entregas, recebimentos, manuseio, produção e inspeção, a JIT consolida-se como base para harmonização dos ritmos de fornecimento e demanda, principalmente na busca de uma produção sem estoque, favorecendo a execução sem interrupções e mantendo um fluxo contínuo de trabalho favorecendo o controle da programação das atividades. A implementação da JIT no planejamento do canteiro de obras, ao aplicar a filosofia ao fluxo de materiais e atividades, evidencia sua aplicabilidade quando se tem controle sobre a relação entre fornecimento e produção. Tem como propósito atingir objetivos específicos do negócio por meio da maximização da efetividade dos recursos de cada parte envolvida (FERNANDES *et al.*, 2001).

Segundo Fernandes *et al.* (2001), um eficiente sistema de planejamento de programação da produção está relacionado ao fornecimento de dados e fatos para o controle dos recursos (materiais, mão de obra, equipamentos e capital), proporcionando maior previsibilidade do empreendimento, possibilidade de cumprimento de prazos, controle mais eficaz sobre mão de obra, materiais e atividades, suporte para tomada de decisões financeiras e possibilidade de realizar o balanceamento de equipes de trabalho. A programação de consumo garante a diminuição de improvisações e desgaste físico dos operários no momento do recebimento de material para a obra sem interromper o ritmo de produção. Da mesma forma, de acordo com a filosofia JIT, um bom planejamento do *layout* do canteiro associada à programação de consumo proporciona agilidade de quantificação e maior controle dos estoques quando os mesmos estão concentrados em um único local, evitando movimentações desnecessárias da mão de obra, tornando-a efetivamente produtiva.

#### 2.1.4 Logística

O termo logística é proveniente do grego *logos*, que significa razão e racionalidade e, mais especificamente, da palavra grega *logistiké*, cujo significado inicialmente usado para descrever a ciência da movimentação, suprimento e manutenção de forças militares no terreno. Posteriormente, foi usado para descrever a gestão do fluxo de materiais numa organização, desde a matéria-prima até aos produtos acabados. Porém a palavra *logística* tem a sua origem no verbo francês *loger*, que significa alojar ou acolher ou também do francês *logistique*, que significa a arte de planejar e de realizar vários projetos (CARVALHO, 2002).

A logística teve origem na antiguidade, onde líderes militares faziam uso em guerras longas e normalmente distantes, em que eram necessários grandes e constantes deslocamentos de recursos. O transporte das tropas, armamentos, carros de guerra pesados e suprimentos aos locais de combate fazia-se necessário uso de planejamento, organização e execução de tarefas logísticas. Os militares da antiga Grécia, Roma e no Império Bizantino, que detinham o título de *Logistikas*, eram os responsáveis pela manutenção de recursos e suprimentos para a guerra.

Em 1888, na Escola de Guerra Naval dos Estados Unidos da América o Tenente Rogers introduziu a Logística, de fato como matéria. A interpretação consciente da logística como uma ciência teve como origem as teorias criadas, desenvolvidas e publicadas em 1917 pelo Tenente-Coronel Thorpe, do Corpo de Fuzileiros Navais dos Estados Unidos da América, com o livro "Logística Pura: a ciência da preparação para a guerra". Segundo Thorpe, a estratégia e a tática proporcionam o esquema da condução das operações militares, enquanto a logística proporciona os meios, elevando a logística ao mesmo nível da estratégia e da tática dentro da Arte da Guerra.

Em 1945 o Almirante Henry Eccles propôs utilizar a obra de Thorpe na condução da 2ª Guerra Mundial, com objetivo de economizar milhões de dólares com os ensinamentos de sua publicação. Eccles, Chefe da Divisão de Logística do Almirante Chester Nimitz, na Campanha do Pacífico, foi um dos primeiros estudiosos da Logística Militar, sendo considerado como o "pai da logística moderna". Até o fim da Segunda Guerra Mundial a Logística teve sua associação limitada às atividades militares. Após este período, com o avanço tecnológico e a necessidade de suprir os locais destruídos pela guerra, a logística passou também a ser adotada pelas organizações e empresas civis.

A primeira disseminação sobre logística no Brasil se deu pelo Capitão de Mar e Guerra da Marinha Brasileira, Abílio Simões Machado, com a publicação "Introdução à

Logística” em 1968, a partir de seus estudos sobre o tema na Escola das Américas, fundada no Panamá pelos Estados Unidos em 1946.

A atividade logística passou a ter novas exigências na nova configuração do mundo após a Segunda Guerra Mundial. Essas exigências se traduzem pela necessidade de maior controle, reconhecimento das oportunidades de redução de custos, redução nos prazos de entrega, aumento da qualidade no cumprimento do prazo, disponibilidade constante dos produtos e programação das entregas. Além disso, permitem a facilidade na gestão dos pedidos, flexibilização da fabricação, análises de longo prazo com incrementos em inovação tecnológica, novas metodologias de custeio, novas ferramentas para redefinição de processos e adequação dos negócios, de forma a atingir os objetivos das novas exigências.

“Logística é a parte do Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento que planeja, implementa e controla o fluxo e armazenamento eficiente e econômico de matérias-primas, materiais semi-acabados e produtos acabados, bem como as informações a eles relativas, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes.” (CARVALHO, 2002, p. 31)

No contexto da construção civil, a logística pode ser dividida em dois tipos de atividades - as principais e as secundárias:

- Principais: Transportes, gestão dos estoques e processamento de pedidos.
- Secundárias: Armazenagem, manuseio de materiais, embalagem, obtenção, gestão de produtos e sistema de informação.

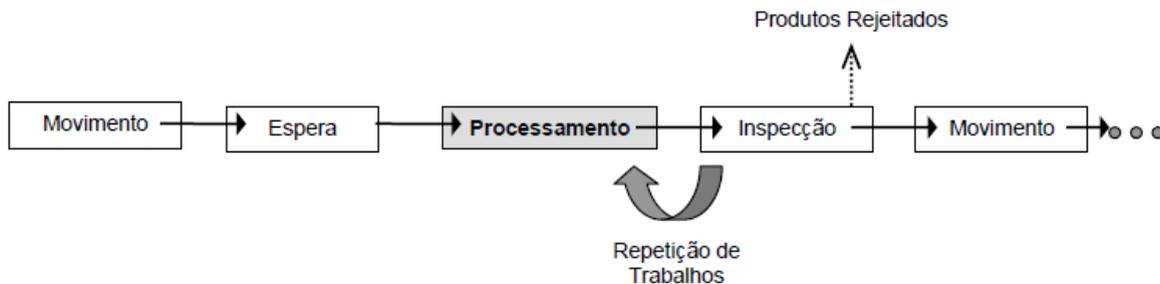
## 2.2 LEAN CONSTRUCTION

De forma a entender os processos de construção e os seus problemas, objetivando o desenvolvimento de soluções e melhoria de processos, é possível reconhecer iniciativas estratégicas tais como a industrialização, as tecnologias de informação na construção e a gestão total da qualidade, bem como iniciativas táticas e operacionais como é caso das ferramentas de planejamento e controle, dos métodos organizacionais, fatores de sucesso do projeto e os métodos de melhoria da produtividade (KOSKELA, 1992).

Segundo Koskela (1992), o modelo de processo da *Lean Construction* (Figura 1) assume que um processo consiste num fluxo de materiais, desde a matéria-prima até ao produto final, que é composto pelas atividades de transporte, espera, processamento (ou

conversão) e inspeção. Pelo fato das atividades de transporte, espera e inspeção não acrescentarem valor ao produto final, são denominadas como atividades de fluxo.

**Figura 1 – Modelo de processo da *Lean Construction***



**Fonte:** Adaptado de Koskela (1992).

A *Lean Construction* (LC) é uma adaptação da *Lean Production* à indústria da construção, com criação na década de 1990, tendo como referência substancial a publicação do trabalho *Application of the new production philosophy in the construction industry* de Lauri Koskela (1992). A partir disso foi criado em seguida o IGLC - *International Group for Lean Construction*.

Segundo Koskela (1992), a nova filosofia de produção conceitualmente apresenta duas fases principais: conversões e fluxos, onde a produção pode ser definida como um extenso e complexo processo de material e/ou informações da matéria-prima até o produto acabado. Durante esse processo, existem atividades de conversão (processamento) e atividades de fluxo como inspeção, espera e movimentação. A eficiência geral da produção é, portanto, a associação das eficiências das atividades de conversão e das atividades de fluxo através das quais as atividades de conversão são agregadas. Devido a isso, o princípio central da nova filosofia de produção é aumentar a eficiência das atividades de conversão (nível de tecnologia, habilidade, motivação, etc.), concomitantemente buscando reduzir ou eliminar as atividades de fluxo, uma vez que estas apenas geram custo e consomem tempo, mas não agregam valor ao produto (AZEVEDO, 2020).

Segundo Cattani (2011), a construção civil é classificada como uma indústria de transformação, devido ao fato de transformar os insumos em produtos intermediários ou finais, fundamentando seu modelo de gestão apenas em processos de conversão, desprezando os fluxos de materiais, trabalho e informações. Essa defasagem conceitual na gestão da construção tem como consequência direta a alta porcentagem de atividades que não agregam valor nos processos construtivos resultando em baixos índices de produtividade além de alto

nível de desperdício de matérias-primas e insumos, más condições de trabalho e desperdícios com mão de obra (CATTANI, 2011). Outra desvantagem da gestão tradicional da construção é dividir o fluxo de produção em processos independentes, onde cada um faz atribuição de responsabilidade a um especialista, prejudicando a gestão pois não prioriza o fluxo de produção como um todo, alcançando ótimos locais, mas suprimindo o ótimo global (KOSKELA, 1992).

Segundo Azevedo (2020), essas reduções das atividades que não agregam valor aos processos são de suma importância desde o planejamento do empreendimento, pois permite ter uma visão global do orçamento e do cronograma da obra, considerando a adoção de práticas *lean* e suas respectivas reduções de custos com mão de obra e insumos, tornando a obra mais viável e atrativa pela perspectiva do cliente, garantindo uma vantagem competitiva ao adotar tais práticas.

Segundo Monteiro e Martins (2018), os fatores críticos para se obter sucesso na implementação da LC são: envolvimento e compromisso da gestão, treinamento, alinhar a filosofia à estratégia do negócio, gestão de mudança cultural, conectar a filosofia com o cliente, abordagem estruturada e seleção e priorização de projetos, habilidades de gerenciamento de projetos, compreensão da metodologia das ferramentas e técnicas.

De acordo com Conte (2002), foi possível concluir que é possível obter uma redução média de 20 a 30% do tempo total de construção e reduzir os custos de produção de 5 a 12% em empreendimentos que aplicaram a *Lean Construction*. Outros benefícios também são mencionados na literatura como: melhora na segurança, na satisfação dos clientes, na qualidade da construção, na redução do tempo, na produtividade, na lucratividade e no melhor gerenciamento de riscos (MCGRAW HILL CONSTRUCTION, 2013).

A construção enxuta é o caminho para a evolução da indústria da construção. O processo de padronização e nivelamento do fluxo permite otimizar o processo de criação de valor para o produto; as práticas efetivamente padronizadas tornam-se o ponto de partida para a melhoria contínua e o nivelamento do fluxo de trabalho ajuda a minimizar a variação permitindo a saída de resultados consistentes e previsíveis (LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE, 2019).

### 2.2.1 Princípios básicos da *Lean Construction*

A seguir são apresentados os 11 princípios da *Lean Construction*, propostos por Koskela (1992), onde todos visam otimizar o processo de construção como um todo e reduzir,

principalmente, os desperdícios como espera, geração de resíduos, retrabalho e atividades que não agregam valor, mas que elevam os custos e tempos de ciclo.

**I. Reduzir a parcela das atividades que não agregam valor;**

Princípio fundamental da *Lean Construction* segundo o qual a eficiência dos processos pode ser melhorada e as suas perdas reduzidas não só através da melhoria da eficiência das atividades de conversão e fluxo, mas também pela eliminação de algumas das atividades de fluxo. Isso significa reduzir as atividades que consomem tempo, algum recurso ou espaço mas não contribuem para atender aos pedidos dos clientes. Para tal é fundamental explicitar as atividades de fluxo, por exemplo, através da representação do fluxo do processo (uso do mapeamento do fluxo de valor - MFV).

Convém salientar que este princípio não pode ser levado ao extremo pois existem diversas atividades que não acrescentam valor ao cliente final de forma direta mas são indispensáveis para a eficiência global dos processos, como por exemplo a formação de mão-de-obra e a instalação de dispositivos de higiene e segurança.

**II. Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes.** Segundo Koskela, o valor não é um fator inerente ao processo de conversão, mas é gerado como consequência da satisfação dos requisitos dos clientes.

Este princípio estabelece que devem ser identificadas claramente as necessidades dos clientes internos e externos e esta informação deve ser considerada no projeto do produto e na gestão da produção.

**III. Reduzir a variabilidade;**

Como forma de reduzir a variabilidade, tanto na conversão como no fluxo do processo de produção, a padronização dos procedimentos se faz necessária.

A natureza da variabilidade também pode estar relacionada com a qualidade do produto, a duração das atividades ou com os recursos consumidos.

Do ponto de vista da gestão de processos, existem duas razões para a redução da variabilidade. A primeira reside no ponto de vista do cliente, um produto uniforme em geral traz mais satisfação, pois a qualidade do produto corresponde efetivamente às especificações previamente estabelecidas. Outra razão reside no fato da variabilidade tender a aumentar a parcela de atividades que não acrescentam valor e o tempo necessário para executar um produto, principalmente pelas seguintes razões:

a. Interrupção de fluxos de trabalho, causada pela interferência entre as equipas. Ocorre quando uma equipa fica parada ou precisa ser deslocada para outra frente de trabalho, em função de atrasos da equipa anterior.

b. Não aceitação de produtos fora da especificação pelo cliente, resultando na repetição dos trabalhos ou na rejeição dos mesmos.

#### IV. Reduzir o tempo de ciclo;

A redução do tempo de ciclo é um princípio que tem sua base e criação na filosofia *Just in Time*. O tempo de ciclo pode ser definido como a soma de todos os tempos necessários (transporte, espera, processamento e inspeção) para a produção de um determinado produto. A redução do tempo de ciclo traz consigo as seguintes vantagens:

a. Entrega mais rápida ao cliente: em vez de se espalharem por toda a obra, as equipes devem focar na conclusão de um pequeno conjunto de unidades, caracterizando lotes de produção menores. Quando possível, as unidades são entregues aos clientes mais cedo, o que tende a reduzir o custo financeiro do empreendimento. Além disso, para outros segmentos de mercado como empreendimentos comerciais, a velocidade de entrega é uma dimensão competitiva importante, pois os clientes necessitam dos produtos num prazo relativamente curto a fim de começar a gerar lucro o mais rápido possível.

Koskela (1992) enumera algumas vantagens oriundas desta redução através de atividades que não agregam valor:

- Entrega mais rápida ao cliente;
- Redução da necessidade de fazer previsões sobre a demanda futura;
- Diminuição de interrupções da produção devido a pedidos de alteração;
- Facilidade no gerenciamento, pois haverá menos pedidos de alteração por parte dos clientes.

Algumas consequências observadas advindas também desta redução:

- Eliminação do trabalho em andamento reduzindo o tempo de espera;
- Redução de tamanhos de lotes;
- Melhoria do layout para minimizar distâncias;
- Sustentação dos processos em movimento, suavizando e sincronizando fluxos;
- Redução da variabilidade;
- Alteração do modo que se estabelece o processo produtivo, de atividades em ordem sequencial para atividades em paralelo;
- Destaque para a principal sequência de atividades que agregam valor;
- Resolução dos problemas de controle.

#### V. Simplificar através da redução do número de passos ou partes;

Para Koskela (1992) a simplificação pode ser feita essencialmente de duas formas: redução do número de componentes de um produto ou redução do número de etapas do

processo produtivo; isto é, por um lado, configura-se partes que agregam valor e, por outro lado, elimina-se atividades que não agregam. Isto ocorre em função das tarefas auxiliares de preparação e conclusão necessárias para cada passo no processo (por exemplo, montagem de andaimes, limpeza, inspeção final, etc.), e também pelo fato de que, quando existe variabilidade, tende a aumentar a possibilidade de interferências entre as equipes de trabalho.

Outro ponto essencial sobre complexidade é a confiabilidade, pois sistemas com alto grau de complexidade são inerentemente menos confiáveis do que sistemas simplificados; além da capacidade humana para lidar com a complexidade que é limitada e facilmente excedida (KOSKELA, 1992).

A implementação da simplificação durante o processo de planejamento da produção, com identificação de etapas similares, com capacidade de ser agrupadas com pouco ou nenhuma adaptação, garantindo repetitividade e padronização, obtendo ganhos em escala (BERNARDES, 2001).

Koskela (1992) enumera algumas abordagens práticas para este princípio:

- Diminuir os fluxos através da consolidação de atividades;
- Reduzir o número de componentes, via alterações de design ou emprego de componentes pré-fabricados;
- Padronizar componentes, materiais e ferramentas;
- Eliminar relações de precedência entre as atividades;
- Minimizar a necessidade de informações de controle;
- Promover a formação de equipes e mão de obra polivalente.

#### **VI. Aumentar a flexibilidade de saída;**

Apesar de a flexibilização parecer contraditória à redução de variabilidade, pode-se obter resultados simultâneos em ambos os princípios (KOSKELA, 1992).

A aplicação deste princípio pode ocorrer no uso de mão-de-obra polivalente, na finalização detalhada do produto no tempo mais tarde possível, e na utilização de processos construtivos que permitam a flexibilidade do produto sem grande prejuízo para a produção. (Isatto, 2000)

#### **VII. Aumentar a transparência do processo;**

A falta ou defasagem de transparência do processo é um problema que aumenta a probabilidade de ocorrência de erros e diminui a percepção dos mesmos. A transparência do processo, por outro lado, facilita o controle do mesmo e estimula a produção de sugestões de melhoria pois o fluxo passa a ser visível e compreensível para todos envolvidos; e pode ser alcançada por meios organizacionais ou físicos, medições e exibição pública de informações

(KOSKELA, 1992). O objetivo, segundo o autor, deve ser substituir o autocontrole pelo controle formal, em outras palavras, deve-se buscar substituir controles “ocultos” por controles bem explícitos, gerando um ambiente em que todos saibam o que estão fazendo, para que estão fazendo e a meta a ser atingida. Koskela (1992) inclui as seguintes abordagens práticas para se obter maior transparência:

- Aplicar programas como o 5S para eliminar a desordem do canteiro de obras;
- Tornar o fluxo observável através de layout apropriado e controles visuais;
- Tornar atributos até então invisíveis nos processos explícitos, através de medições claras e objetivas;
- Utilizar gestão visual que forneça a todos rápida compreensão sobre padrões e desvios;
- Reduzir interdependência entre unidades produtivas;
- Remover obstáculos visuais, tais como divisórias e tapumes;
- Utilizar gestão visual nos processos, como: quadros, cartazes, sinalização e demarcação de áreas.

#### **VIII. Focar o controle no processo global;**

O controle do processo de forma global permite a identificação e a correção de possíveis desvios do plano que venham a interferir com intensidade no prazo de entrega da obra.

A prática de sub-otimizar uma atividade dentro de um processo tem um impacto reduzido, podendo até ser negativo, no desempenho global do mesmo é um comum risco cometido na busca por melhorias. Esta situação é muito comum em processos de produção fragmentados, como é a execução de uma obra, onde existem muitas pessoas envolvidas no projeto como um todo.

Para aplicação deste princípio é essencial uma mudança de postura por parte dos envolvidos na produção, que devem procurar entender o processo como um todo por oposição a um foco restrito de operações (KOSKELA, 1992). É também fundamental definir quem tem clara responsabilidade pelo controle global do processo.

#### **IX. Introduzir melhoria contínua no processo**

Para Koskela (1992) reduzir perdas e aumentar o valor na gestão de processos tem um carácter incremental, interno à organização, devendo ser conduzido continuamente, com a participação da equipe responsável pelo processo. O trabalho em equipe e a gestão participativa constituem os requisitos essenciais para a introdução da melhoria contínua.

Existem algumas formas de alcançar este objetivo como por exemplo utilizar indicadores de desempenho, premiar pelo cumprimento de tarefas e metas e padronizar os procedimentos. O autor lista algumas abordagens práticas para promover a melhoria contínua:

- Medir e monitorar a melhoria;
- Traçar metas, como por exemplo, de redução de desperdício ou redução do tempo do lead time, assim os problemas ficam visíveis e é estimulada a criação de soluções;
- Compartilhar a responsabilidade de melhorar com todos os funcionários, toda a contribuição deve ser estimulada e recompensada;
- Utilizar procedimentos científicos, buscar as melhores práticas de gestão e aplicá-las;
- Criar controles para sustentar as melhorias implantadas;
- Ter em mente que o objetivo sempre é atacar as raízes dos problemas e não seus efeitos.

#### **X. Manter um equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões**

No processo de produção existem diferenças de potencial de melhoria em conversões e fluxos. Para Koskela (1992), quanto maior a complexidade do processo de produção, maior é o impacto das melhorias e quanto maiores os desperdícios ligados ao processo, mais proveitosos serão os benefícios nas melhorias de fluxo, em comparação com as melhorias de conversão.

O autor faz referência também que as melhorias de fluxo e conversão estão intimamente relacionadas, uma vez que: melhores fluxos requerem menor capacidade de conversão e, portanto, menores investimentos em equipamentos; fluxos mais controlados facilitam a implementação de novas tecnologias na conversão; novas tecnologias na conversão podem acarretar menor variabilidade e, assim, benefícios no fluxo. Deste modo é necessário que exista um equilíbrio entre ambas.

#### **XI. Fazer benchmarking**

Benchmarking é um princípio baseado no aprendizado a partir da análise estratégica de práticas adotadas por um referencial de mesmo setor. Segundo Koskela (1992), a aplicação desse princípio não só ajuda a superar rotinas intensas como favorece o repensar de falhas lógicas instauradas nos processos, mas que passam despercebidas sem uma visão externa. Em resumo, o benchmarking auxilia a abandonar padrões que limitam seu processo, expandindo-o com base em resultados comprovados, garantindo maior competitividade no mercado.

Para Koskela (1992), ao se realizar benchmarking é necessário:

- Conhecer como são os processos da sua empresa, avaliar os pontos fracos e fortes dos subprocessos;
- Conhecer os líderes ou os principais concorrentes do setor ou similares;
- Identificar, entender e comparar as melhores práticas;
- Entender os princípios por trás dessas boas práticas;
- Adaptar as boas práticas encontradas à realidade de sua empresa.

## 2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DO *LAYOUT* DE CANTEIRO DE OBRAS

### 2.3.1 Princípios do *layout*

O *layout*, ou leiaute, pode ser chamado também de arranjo físico, é a definição da disposição de pessoas, materiais, instalações, equipamentos, componentes e áreas de trabalho e estocagem envolvidos no processo de produção, segundo Slack, Chambers e Johnston (2009). Este arranjo possui interferência direta na execução de uma operação eficiente e efetiva de armazenagem, pelo fato de o layout determinar o grau de acessibilidade ao material, os locais de áreas obstruídas, a eficiência de mão-de-obra e a segurança de pessoal e dos locais de guarda (DIAS, 1996).

Um melhor aproveitamento da edificação, da mão-de-obra e dos equipamentos, produtos de um layout adequado, traz consigo uma redução nos custos não só de estocagem, como também de manutenção. Afirma Dias (1996) que o princípio fundamental de rearranjo de uma instalação em funcionamento é o custo do método proposto, por unidade produzida, e deve ser menor que o existente, de modo a proporcionar uma economia satisfatória para a empresa, no período mais curto possível, e os produtos devem transitar o menos possível entre duas máquinas e de um ponto de estocagem a outro.

É de grande importância a observação de alguns importantes itens que favoreçam a melhora na circulação de materiais e para se ganhar espaço (DIAS, 1996):

- Traçar os fluxos dos produtos mais importantes;
- Tentar ganhar espaço vertical principalmente nos depósitos de matérias-primas, materiais auxiliares, produtos semi-acabados e acabados, procurando empilhá-los ao máximo, respeitando empilhamento máximo de cada produto;
- Remover todo o lixo, material de segunda, máquinas obsoletas ou reduzir o espaço ocupado pelo lixo ao máximo.

Para o desenvolvimento de um *layout*, Oliveira (2011) e Francis & White (1994) orienta a observação dos seguintes objetivos:

- Proporcionar um fluxo de comunicações entre as unidades organizacionais de maneira eficiente, eficaz e efetiva;
- Minimizar o investimento em equipamento;
- Flexibilizar as operações;
- Diminuir o custo de tratamento do material;
- Minimizar o tempo de produção;
- Utilização do espaço existente da forma mais eficiente possível;
- Proporcionar melhor utilização da área disponível da empresa;
- Tornar o fluxo de trabalho eficiente;
- Proporcionar redução da fadiga do funcionário no desempenho da tarefa, incluindo o isolamento contra ruídos;
- Ter um clima favorável para o trabalho e o aumento da produtividade.

O projeto do *layout* possui o desafio de refletir a dinâmica do local ao longo de um projeto de construção. Isso se deve ao fato de que as atividades de construção e, conseqüentemente, o *layout* se alteram conforme o desenvolvimento das atividades envolvidas no empreendimento, modificando o tempo de entrada e o posicionamento dos materiais e das frentes de trabalho em diferentes períodos de tempo (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2013). Tommelein (1994) faz a afirmação de que os desvios do plano do canteiro de obra podem ser gerados por vários motivos, como: a incerteza sobre o calendário de entregas; a falta de comunicação de dados; as discrepâncias entre as datas estimadas; a disponibilidade de material; as características do material e a imposição de requisitos de gerenciamento; os danos e perdas de material e a insuficiência do espaço disponível.

Um arranjo espacial ideal para a construção de um espaço de trabalho, permitindo o melhor desempenho e que as atividades sejam executadas das melhores maneiras possíveis, faz necessária a consideração de alguns fatores, como: os custos, a flexibilidade, a segurança, as condições de trabalho, as condições de controle e qualidade e a qualidade em si para processo produtivo (BORBA, 1998) (CAMAROTTO, 1998).

### 2.3.2 *Last Planner System*

O *Last Planner System* (LPS) é a ferramenta com maior adaptação à construção, criada com base nos princípios da *Lean Construction*, pelo *Lean Construction Institute* (LCI)

em especial por Glenn Ballard e Greg Howell (Ballard, 2000), desenvolvida para o controle da produção em estaleiros de construção.

As etapas que compõem as fases de um empreendimento de construção têm sua programação organizada em diferentes níveis da empresa. A pessoa considerada o *Last Planner* (LP), é a pessoa responsável por uma das etapas mais importantes do processo construtivo, que é decidir quando e em quais condições o trabalho deverá ser executado. Essa etapa aborda as operações de planejamento e controle a curto prazo, com o objetivo de assegurar, por meio de diversos procedimentos e ferramentas, que todas as demandas necessárias para execução de uma atividade estão disponíveis no momento em que a mesma tem início, garantindo a conclusão conforme o previsto.

Segundo Ballard (2000), a proposta desta ferramenta, é fazer uma comparação entre as atividades que foram efetivamente realizadas com as atividades planejadas, permitindo a visualização da causa da não execução do planejado, podendo gerar índices comparativos com objetivo de prever futuros erros e contratempos.

O LPS pode ser dividido em três níveis de planejamento: longo prazo, médio prazo e curto prazo. Assim, é criado um plano geral, que pode ser entendido como uma calendarização total do projeto, definido a partir do projeto inicial demandado pelo cliente. É de grande importância o cumprimento das metas chave do projeto, relacionando-as e determinando as datas de execução de cada etapa, além de estratégias de execução para que o trabalho possa ser efetuado dentro do tempo definido.

No planejamento a médio prazo são criados os planos de fase, preparados por uma equipe responsável pelo trabalho da respectiva fase. O seu objetivo é determinar a quantidade de tempo disponível e a melhor forma das pessoas envolvidas no trabalho o usarem.

No nível de planejamento a curto prazo é criado o plano de antevisão com objetivo de sequenciar o fluxo de trabalho da maneira mais eficiente, classifica e faz a harmonização entre a mão de obra e os recursos com o fluxo de trabalho. Assim, é possível designar as tarefas que estão prontas a começar pelos operários agrupando as situações em que se verificam interdependências e relações de troca (BALLARD, 2000).

O mecanismo empregado no LPS melhora a credibilidade do plano: aumentando a confiança de cada equipe de trabalho, tendo como consequência o efeito de melhorar a credibilidade de fornecimento dos recursos corretos e consequente melhoria da credibilidade do plano. Assim, o LPS é entendido como um sistema de planejamento e controle da produção que permite aumentar a credibilidade do fluxo de trabalho (Macomber e Howell, 2003).

### 2.3.3 Planejamento de *layout* de canteiro de obras

Segundo as definições de Muther (1998), são apresentados a seguir os tipos de *layout* mais comuns:

*Layout* linear: É caracterizado pelos grandes lotes, e equipamentos para fins específicos. Possui grande mecanização ordenada de acordo com a sequência de produção e menor variabilidade, adotando um único produto ou produtos similares. Podem ser contínuos ou interrompidos.

*Layout* por processo ou funcional: É caracterizado pela grande variedade de produtos e sequência de operações. Os equipamentos são agrupados por função, pelo fato de terem difícil movimentação e exigirem suprimentos, instalações e construções especiais.

*Layout* fixo ou posicional: É caracterizado pela imobilidade do item de fabricação. Nesta configuração, os trabalhadores, matérias primas e os equipamentos se deslocam até o produto/local de trabalho.

Borba (1998) acrescenta outros tipos de *layout* em seu trabalho como apresentado a seguir:

*Layout* celular: define em seu trabalho que este tipo de *layout* é composto de células de produção e montagem interligadas por um sistema de controle de material de “puxar”. As células, operações e processo são agrupados de acordo com a sequência de produção que é necessária para fazer um grupo de produtos. As máquinas e equipamentos da célula são todos, normalmente de ciclo único e automático, sendo que elas podem completar o seu ciclo desligando automaticamente.

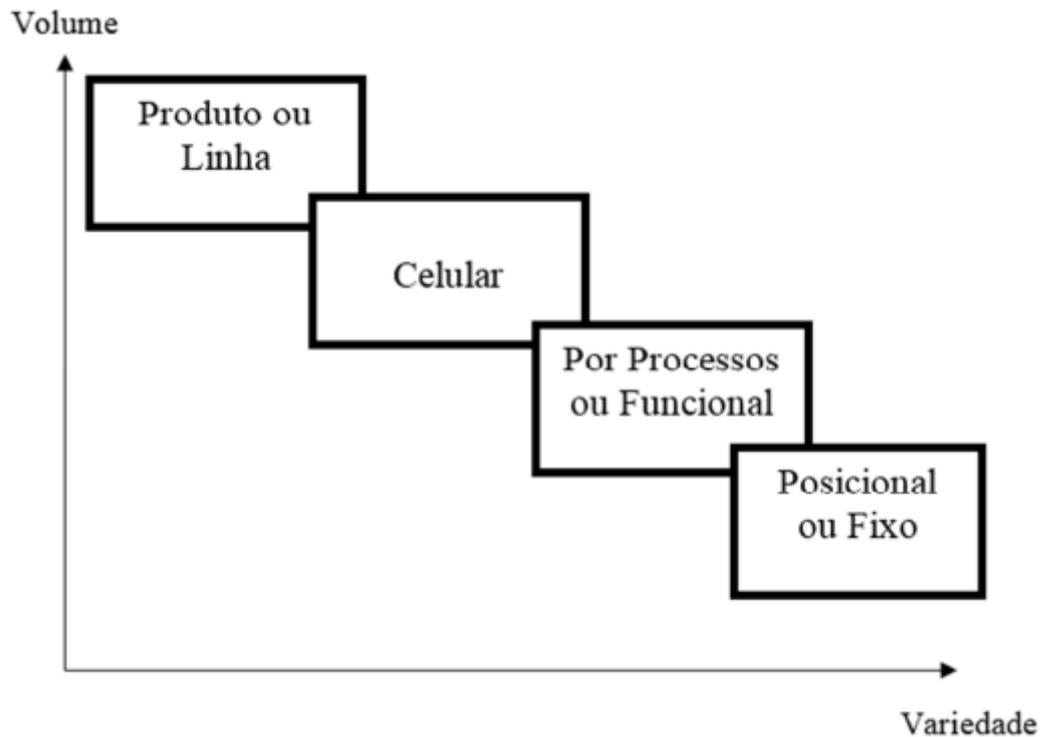
*Layout* misto: Este tipo de *layout*, também chamado de *layout* híbrido, é o resultado da junção de mais de um tipo de *layout* em uma única unidade de produção, devido ao alto índice de demanda variada e ao volume de uma grande gama de produção.

A adaptação à crescente demanda do mercado força um meio de produção mais integrado, dessa forma é frequente encontrar soluções de *layouts* que são uma combinação dos *layouts* antes explicitados no trabalho. Logo, pode-se afirmar que os *layouts*, em grande parcela, são formulados levando em consideração uma combinação de alguns dos quatro tipos de *layouts* básicos, dando origem ao *layout* misto. E assim, abrangendo uma parcela maior da produção e otimizando da melhor maneira seus processos e produção.

Silveira (1994) e Neumann & Scalice (2015) identificam quatro tipos básicos de *layout*, linha, celular, funcional e fixo, podendo ser expressos em um gráfico relacionando

diferentes níveis de volume com variedade de produtos e serviços, conforme ilustra a Figura 2.

**Figura 2 - Layouts por Variedade x Volume**



**Fonte:** Adaptado de Neumann & Scalice, 2015, p. 237.

Segundo Skjelbred, Fossheim e Drevland (2015), o planejamento do *layout* do canteiro e a alocação correta de recursos adequados, são decisões logísticas essenciais para a eficiência de sistemas pré-fabricados. Assim, demonstrando o grande potencial de aplicação da filosofia da manufatura enxuta também nos sistemas de fabricação com uso de pré-moldados.

Para Shingo (1996) as vantagens de se utilizar um arranjo físico celular são: maior flexibilidade para atender pedidos em última hora com rapidez; minimização de custos relacionados a desperdícios e estoque; maior transparência de problemas; otimização do potencial humano; maior competitividade; redução do tempo de processo e *setup*; menor estoque de produto em processo; entre outras. As principais desvantagens destacadas pelo autor são a menor flexibilidade de rota, pois os equipamentos saem dos centros de trabalho e são dispostos em células, que são menos sujeitas às variações de carga de trabalho e menor

flexibilidade de produto devido a equipamentos e pessoas se dedicarem à célula diminuindo a capacidade de produzir novos itens.

Nesse mesmo sentido, as tecnologias da informação passam a demonstrar cada vez mais sua importância no apoio à gestão da produção, apresentando melhorias, principalmente na fase de planejamento e controle do *layout* devido à complexidade do sistema envolvido em fazer a sincronização entre a montagem das estruturas e a entrega de materiais. Essas melhorias do *layout* permitem um fluxo de materiais e informações mais eficientes, torna mais fácil a supervisão, proporciona uma melhor qualidade de vida para os colaboradores, redução de filas, otimização da utilização de máquinas, equipamentos, pessoas e espaço físico, reduzindo custos operacionais e aumentando a produtividade da organização (DOS SANTOS, 2012).

De acordo com Slack *et al.* (2009), arranjo físico do tipo celular é aquele onde os recursos transformados, ao entrar em operação, são selecionados para se movimentar em uma parte específica da operação (ou célula), onde todos os insumos necessários à fabricação se encontram disponíveis e a célula em si pode ser arranjada de acordo com um *layout* por processo ou por produto. Esse tipo de arranjo físico favorece os fluxos de trabalho, diminuindo as distâncias percorridas pelos colaboradores para executar as funções do trabalho a ser desenvolvido, já que os recursos estão alocados próximos às células de fabricação.

De acordo com Illingworth (1993), existem três tipos de canteiros de obras: restritos, amplos e longos e estreitos, descritos no quadro 1 abaixo.

**Quadro 1 - Tipos de canteiro**

<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>
<b>1. Restritos</b>	A construção ocupa o terreno completo ou uma alta percentagem deste. Acessos restritos.
Exemplos	Construções em áreas centrais da cidade, ampliações, reformas e trabalhos em estradas de ferro e de rodagem.
<b>2. Amplos</b>	A construção ocupa somente uma parcela relativamente pequena do terreno. Há disponibilidade de acessos para veículos e de espaço para as áreas de armazenamento e acomodação de pessoal.
Exemplos	Construção de plantas industriais, conjuntos habitacionais horizontais e outras grandes obras como barragens, usinas hidrelétricas, etc.
<b>3. Longos e estreitos</b>	São restritos em apenas uma das dimensões, com possibilidade de acesso em poucos pontos do canteiro.
Exemplos	Trabalhos em estradas de ferro e rodagem, redes de gás e petróleo, e alguns casos de obras de edificações em zonas urbanas.

**Fonte:** Adaptado de Illingworth (1993).

Segundo Elias *et al.* (1998), para se iniciar a elaboração do projeto de *layout* é necessário dispor de uma série de informações referentes ao empreendimento, sintetizadas a seguir:

1. Projetos executivos revisados e compatibilizados;
2. Cronograma físico;
3. Cronograma de compras;
4. Especificações técnicas da obra;
5. Definição sobre compra de argamassas e/ou concretos prontos;
6. Norma Regulamentadora 18 - Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção civil;
7. Produtividade dos operários para os diversos serviços da obra;
8. Estudos de inter-relacionamento homens/máquinas e equipamentos;
9. Definição da equipe técnica;
10. Definição do número máximo de funcionários na obra;
11. Definição dos processos construtivos a serem utilizados;
12. Endereço da obra;

13. Fornecimento de água potável;

14. Fornecimento de energia elétrica, entre outras.

Conforme Corrêa e Corrêa (2008), como o planejamento do *layout* visa à eliminação das atividades que não agregam valor, o *layout* deve:

- Reduzir custos de manuseio e movimentação interna dos materiais;
- Utilizar o espaço físico disponível de forma eficiente;
- Contribuir para aumentar a eficiência da mão de obra, evitando que esta se movimente desnecessariamente;
- Facilitar a comunicação entre as pessoas envolvidas na operação;
- Reduzir tempos de ciclo dentro da operação, sempre que possível e coerente com a estratégia;
- Facilitar a entrada, saída e movimentação de fluxos de pessoas e de materiais;
- Atender a exigências legais de segurança do trabalho;
- Facilitar a manutenção dos recursos garantindo fácil acesso;
- Facilitar o acesso visual às operações, quando adequado.

Para El-Rayes e Said (2010) a modelagem de *layout* de site dinâmico refere-se ao processo de geração de *layouts* que são ideais para a duração do projeto de construção, enquanto considera a duração real para a qual os objetos são necessários. Para habilitar o planejamento de *layout* de canteiro dinâmico no modelo atual, todos os objetos de construção, independentemente da necessidade de estar no canteiro de obra, começarão a procurar por seus locais simultaneamente. Segundo os autores, os objetos são modelados como objetos inteligentes; ou seja, as informações sobre o tempo que são necessários para sua função dentro do canteiro e seus pesos de proximidade com outros objetos que estão embutidos neles como atributos de objeto. Objetos que não têm um tempo atrelado a eles se sobrepõem e podem até ocupar o mesmo espaço físico. Isso significa que o espaço ocupado por um objeto pode ser reutilizado por outros objetos em períodos anteriores ou posteriores. Já objetos com sobreposição de tempo não podem passar uns sobre os outros, nem podem ocupar o mesmo espaço. Quando objetos com sobreposições de tempo se alcançam, ocorre um “choque” (EL-RAYES e SAID, 2010).

Saurin (1997) fez a proposta de diretrizes por procedimento sistematizado, definido por quatro etapas básicas:

- **Análise preliminar:** Consiste na coleta e análise de dados elaborada antes do início do plano de *layout*.

- Arranjo físico geral: A definição do macro *layout* é marcada pela definição do local que cada área (instalações) ocupa dentro do canteiro.
- Arranjo físico detalhado: O micro *layout* envolve um detalhamento do macro *layout* através do estabelecimento de cada equipamento ou instalação no canteiro de obra.
- Cronograma de implantação do plano: Deve ser estabelecido em várias fases do *layout*.

O planejamento do dimensionamento do canteiro de obras deve ser realizado em vários níveis de detalhe, do geral para o particular, priorizando as decisões estratégicas (LEE, 1998). O autor define cinco níveis para o planejamento do espaço:

- Localização global: Disposição física das instalações e sua missão com a localização através de mapas de atividades;
- Planejamento do supra espaço: Planejamento do local a partir das informações como local, número, dimensões sobre as infraestruturas;
- Planejamento do macro espaço: Estabelece a organização básica, através da definição e organização de departamentos operacionais e determinação do fluxo geral de materiais;
- Planejamento do micro espaço: Determinação do planejamento da localização de equipamentos e espaços específicos;
- Planejamento do sub micro espaço: Definição das estações de trabalho e dos operários, visando eficiência, eficácia e segurança.

De acordo com Lee (1998), o planejamento do macro *layout* é o de maior importância por estabelecer a organização fundamental e os padrões de fluxo de materiais, devendo ser realizado na programação de longo prazo do empreendimento, responsável por quase todas as medidas de desempenho da instalação e da organização.

#### 2.3.4 Planejamento e controle logístico de sistemas pré-moldados

Segundo Vieira e Gontijo (2020), um elemento pré-moldado é uma peça fabricada a partir da colocação de concreto em um molde, a ser utilizado na construção civil. Após o desmolde, esse concreto é levado a ser curado em uma área com condições de temperatura e umidade controladas, que irão garantir uma melhor cura e, conseqüentemente, maior qualidade da peça. Quando pronto, o pré-moldado será transportado para a área da construção, onde deverá ser utilizado, mediante a sua montagem segura, com as demais peças da obra.

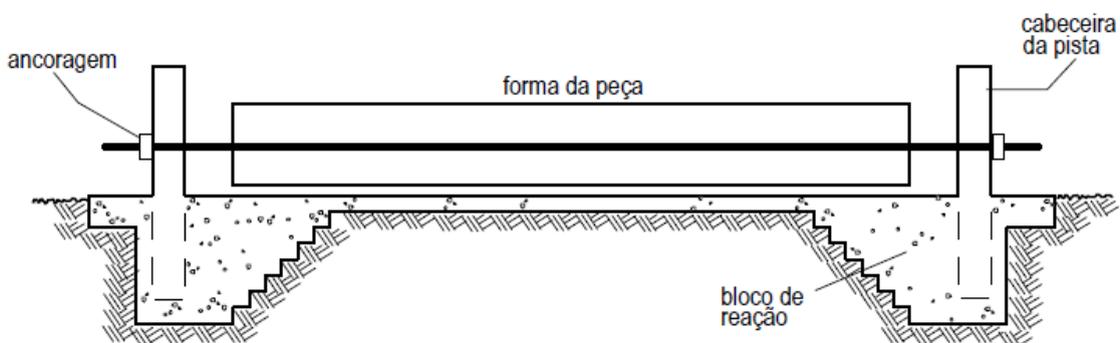
**Figura 3 - Galpão de estruturas pré-moldadas**



**Fonte:** O autor, 2021.

A aplicação de protensão com aderência inicial é amplamente empregada na produção de elementos pré-fabricados em pistas de protensão, com a utilização de fios e cordoalhas de aço pré-tensionadas com auxílio de macacos hidráulicos, que se apoiam em blocos na cabeceira da pista (Figuras 3). Para Vieira e Gontijo (2020), existem benefícios no uso desse tipo de sistema, como: toda seção da peça trabalhe sob compressão, de forma que o aproveitamento da capacidade resistente da seção é muito maior do que nas peças de concreto armado, permitindo a produção de peças mais esbeltas, conseqüentemente mais leves, o que possibilita grandes comprimentos para vencer grandes vãos; alta resistência com pouco tempo de cura; menor retração, deformação e menos fissuras que os concretos comuns; garantia de uma melhor proteção das armaduras contra corrosão.

**Figura 4 - Esquema de uma pista de protensão típica**



**Fonte:** Vieira e Gontijo (2020).

Em sistemas de construção que utilizam pré-moldados é possível desenvolver produtos com maior produtividade e com menor variabilidade devido à uma maior capacidade de controle da produção. Matt, Dallasega e Rauch (2015) destacam que os processos de fabricação e montagem muitas vezes são desconectados em função da falta de confiabilidade do planejamento no canteiro de obras e da comunicação insuficiente entre os responsáveis pela fabricação e pela montagem. Na adoção de sistemas pré-moldados o processo de construção tende a tornar-se mais complexo e vulnerável a partir da necessidade de dois locais a serem planejados: local de instalação dos moldes de fabricação e canteiro de obras, onde é feita a montagem das peças.

A interdependência entre a fabricação e montagem no canteiro de obras é característica de grande importância a ser observada (RECK *et al.*, 2020). Por um lado, os atrasos na entrega dos componentes podem gerar custos adicionais devido à mão de obra e equipamentos parados, por outro, a produção e entrega antecipadas tendem a gerar estoques excessivos, aumentando o esforço demandado com a movimentação de componentes em obra (ČUŠ-BABIČ *et al.*, 2014). Para o gerenciamento do fluxo de produtos são necessárias informações precisas, confiáveis e atualizadas sobre o status do sistema de produção (EASTMAN *et al.*, 2011).

O planejamento e controle em sistemas pré-moldados do tipo é fator essencial para coordenar os diferentes tipos de fluxos (projeto, fabricação, operações logísticas e montagem no canteiro de obras) em um ambiente com um alto nível de incerteza (VIANA, 2015). existem dois tipos de produção em concreto pré-moldado, a saber: os concretos pré-moldados produzidos em uma fábrica, que englobam as etapas de moldagem e execução, transporte da fábrica até a obra, montagem e execução das ligações, e os concretos pré-moldados executados dentro do próprio canteiro de obras, que das etapas anteriores somente não inclui o transporte do material até a obra (DE CAMARGO, 2007), conferindo controles de qualidade mais rigorosos, considerando a normatização NBR 9062, que estabelece os requisitos para o projeto, execução e o controle de estruturas de concreto pré-moldado, armado ou protendido.

## 2.4 FERRAMENTAS DIGITAIS DE PLANEJAMENTO

### 2.4.1 AutoCAD

O AutoCAD é um software tipo CAD (Computer Aided Design) utilizado em áreas como engenharia, para o desenvolvimento de projetos e desenhos técnicos com elevado grau de precisão (BALDAM,2015).

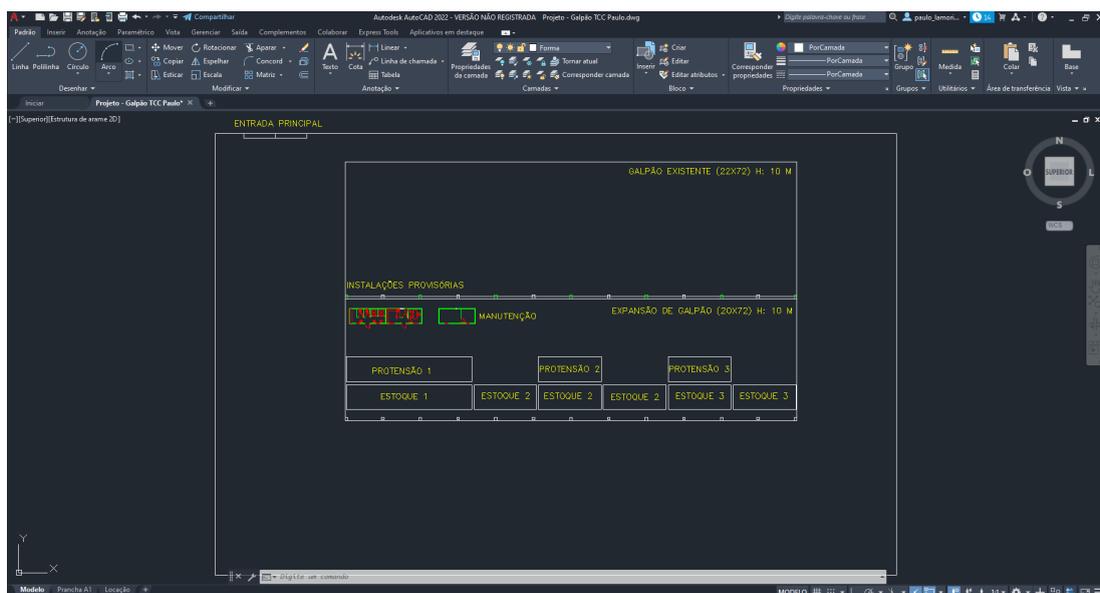
Por meio da tecnologia bidimensional (2D) ou tridimensional (3D), reproduz com a máxima fidelidade as especificações e medidas de plantas residenciais e comerciais, máquinas, equipamentos entre outros objetos, a partir de elementos gráficos vetoriais.

É comercializado pela Autodesk Inc, que disponibiliza uma licença gratuita para estudantes universitários, em função da importância da aplicação na formação de profissionais em cursos como arquitetura e engenharia elétrica.

Segundo um estudo da própria Autodesk, o AutoCAD para projetos de arquitetura e engenharia civil:

- permite a criação de plantas baixas com 50% mais rapidez;
- reduz o tempo necessário para criar elevações arquitetônicas em 75%;
- reduz o tempo de detalhamento das plantas em até 70%;
- aumenta a produtividade total dos projetos em 60%.

**Figura 5 - Interface do *software* AutoCAD**



Fonte: O autor, 2021.

#### 2.4.2 MS Project

MS Project é um *software* de Gerenciamento de Projetos que atua em diferentes etapas da gestão. Porém, as esferas em que ele é mais diretamente relacionado são nas missões de planejamento e controle (LARSON, 2013).

O programa proporciona facilidades aos líderes como: calendários detalhados, distribuidores automáticos de tarefas e visualização de dados em múltiplos ângulos, entre outras vantagens. É o *software* de maior aceitação mundial para Gerenciamento de Projetos por sua facilidade de utilização e versatilidade de aplicação.

O MS Project é uma ferramenta de apoio com um grande número de recursos para gerenciar um projeto do início ao fim. A plataforma apoia desde o planejamento até o controle do projeto, desde os casos mais simples até os mais complexos.

Por tornar os processos mais ágeis e também mais próximos de seus objetivos, muitos profissionais utilizam o MS Project em suas rotinas. Essa ferramenta proporciona aos líderes facilidades como calendários detalhados, distribuidores automáticos de tarefas e visualização de dados em múltiplos ângulos, entre outras vantagens.

O MS Project é o que permite ao responsável pelo planejamento, execução ou controle de uma série de atividades que se relacionam, trabalhar alinhado à utilização de recursos, custos, cronograma e as principais áreas do gerenciamento de projetos

Com a utilização do MS Project é possível idealizar e programar atividades, controlar prazos, estabelecer custos, designar recursos e qualificar o grau de importância de um projeto como um todo.

Esta ferramenta tornou-se popular ao redor do mundo justamente por sua versatilidade de adequação a diferentes circunstâncias.

Outras informações que o *software* apresenta de maneira a colaborar com o sucesso da Gestão de Projetos são os relatórios e as trilhas de atividades.

A sequência de atividades serve exatamente para ligar duas tarefas da forma mais lógica e precisa possível, embora algumas equipes optem por uma representação gráfica da divisão de trabalho.

Com a utilização do recuo ou Estrutura Analítica de Projeto que o MS Project propõe, a decomposição do trabalho e a sequência das atividades tornam-se mais fáceis, pois o *software* elabora níveis de trabalho do mais alto nível para os níveis mais baixos.

É possível também recolher algumas seções do cronograma para que se concentre em áreas específicas da divisão de trabalho.

### 2.4.3 Etapas para a definição dos lotes de montagem

Para sistemas construtivos pré-moldados, primeiramente deve ser realizada uma análise geral do empreendimento, com estudo dos fluxos de trabalho e definição dos lotes, para posteriormente realizar a análise detalhada desses lotes e definir a sequência de produção (RECK *et al.*, 2020).

A seguir é apresentado o detalhamento das etapas de tomada de decisões e as ferramentas utilizadas no processo de planejamento (RECK *et al.*, 2020):

- Definição dos lotes: devem ser utilizadas a representação esquemática dos lotes em planta baixa e planilha de mapeamento de peças. Nesta etapa são definidas ou estimadas a produtividade de montagem e a quantidade de peças por lote. Como resultado é obtido o número de lotes de montagem e os quantitativos de peças por lote;

- Estudo dos fluxos de trabalho: para a realização da mesma deve ser utilizada a linha de balanço, na qual é buscada a sincronia entre processos e o fluxo ininterrupto das diferentes equipes. Como resultado desta etapa, tem-se a análise e definição dos fluxos físicos (nº de equipes de montagem, sequência de execução dos lotes e sequência de execução das equipes de montagem);

- Definição de operações logísticas: esta etapa pode ser realizada concomitante à etapa de estudo dos fluxos de trabalho. Podem ser utilizadas representações esquemáticas em planta baixa da localização e movimentação dos equipamentos de montagem, abastecimento e segurança;

- Fluxograma do empreendimento: esta etapa necessita apenas da definição dos lotes e estudo dos fluxos de trabalho para iniciar, mas só pode ser concluída com a definição das operações logísticas, podendo ser realizada em conjunto com a mesma. Esta etapa apresenta o resultado final do estudo do plano de ataque, reunindo todas as decisões tomadas nas etapas anteriores. Entretanto, a elaboração do fluxograma traz para o processo de tomada de decisão uma nova compreensão sobre as operações logísticas, por permitir uma visualização das mesmas;

- Definição da sequência de produção: consiste na elaboração de um diagrama de precedências de atividades de montagem das peças nos lotes. Como resultado se obtém a sequência de atividades a ser seguida na montagem;

- Definição de ritmo: parte da definição do tempo de ciclo, com base na definição da sequência de produção e da produtividade a ser adotada. Pode ser utilizada uma planilha auxiliar contabilizando a quantidade de peças montadas por dia por lote; e

- Fluxograma do lote: assim como no fluxograma do empreendimento, esta etapa reúne informações das etapas anteriores. A elaboração do fluxograma traz uma nova compreensão sobre as limitações de montagem, podendo ser necessário modificar decisões das etapas anteriores.

### **3. METODOLOGIA CIENTÍFICA**

#### **3.1 Estratégia da pesquisa**

A metodologia científica, segundo Tartuce (2006), trata de método e ciência. Para Gerhardt e Silveira (2009), metodologia é o estudo da organização para realizar uma pesquisa ou para se fazer ciência; e não deve ser confundida com o conteúdo (teoria) nem com os procedimentos (métodos e técnicas). Assim, identificando inicialmente o objeto de estudo específico do trabalho e a especificação do corpo de regras e procedimentos ordenados e metodológicos de investigação para realizar uma pesquisa.

Considerando os critérios de classificação de pesquisa científica propostos por Gerhardt e Silveira (2009), a abordagem deste trabalho teve enfoque qualitativo, por não se atentar à representatividade numérica, mas, sim com o aprofundamento da compreensão de um grupo e uma organização específica, com objetivo de produzir informações detalhadas e ilustrativas. O grupo e a organização referidos são o corpo de colaboradores e a empresa, objetos do estudo deste trabalho. Por meio de observações e medições em campo foi possível fazer a delimitação e a listagem das atividades envolvidas nos processos construtivos, de forma a desenvolver um planejamento baseado nas demandas de produtos e serviços executados pela organização a partir do sequenciamento dessas atividades. A classificação, quanto à natureza, desta pesquisa é aplicada, pois tem como objetivo produzir um conhecimento prático, de forma a atender às demandas de problemas específicos enfrentados pela organização. Quanto aos objetivos, a pesquisa é do tipo exploratória, proporcionando maior proximidade com o problema proposto, abrangendo levantamento bibliográfico e entrevistas a pessoas com experiências práticas no objeto de estudo de forma a estimular a compreensão do tema; e do tipo descritiva, de forma a descrever o elemento de estudo, fatos e fenômenos de sua realidade. Por último, a classificação quanto aos procedimentos é do tipo pesquisa bibliográfica, pois foram realizadas apurações sobre conceitos e fundamentos acerca do tema a partir do levantamento de referências teóricas já estabelecidas e representativas na esfera acadêmica, como monografias, dissertações, teses, artigos científicos e livros que discorrem sobre o tema; e também do tipo pesquisa-ação pois pressupõe uma participação planejada do pesquisador na situação problemática investigada e o processo de pesquisa é embasado por uma metodologia sistemática com objetivo de modificar a realidade do objeto observado.

### 3.2 Delineamento da pesquisa

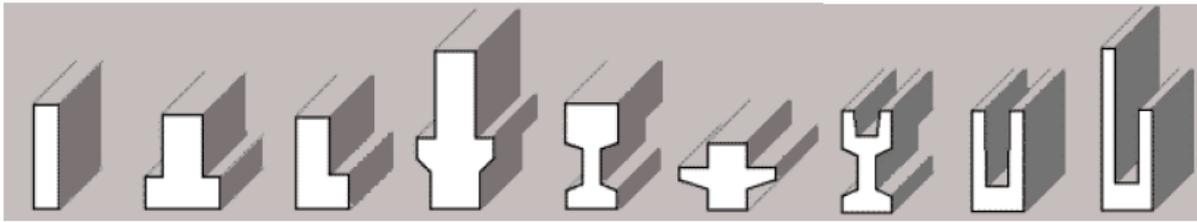
A seguir é apresentado o delineamento da pesquisa, que foi dividido em três etapas:

- (a) compreensão;
- (b) desenvolvimento; e
- (c) análise e reflexão.

A etapa de compreensão consistiu na análise do problema real, considerando o sistema de planejamento logístico utilizado na construção de outro empreendimento de mesmas proporções e considerando um empreendimento em andamento durante a produção deste trabalho. Foram utilizados dados de estudos anteriores, encontrados na literatura, sobre construção de galpões, sistemas pré-fabricados, sistemas pré-moldados e também informações coletadas diretamente na Empresa A, objeto de estudo, que produz estruturas pré-moldadas em concreto. Essa etapa permitiu compreender o contexto dos processos e verificou as necessidades de melhoria enfrentadas pela empresa, de forma a criar novas estratégias de planejamento do canteiro de obras para futuros empreendimentos, com objetivo de ajustar cada vez mais o cronograma de produção da empresa, garantindo uma menor variabilidade e um menor tempo de execução. Para compreender o processo logístico foi feita uma descrição dos meios de abastecimento de suprimento à obra e a identificação do fluxo de informações entre a fábrica e as obras, bem como os métodos de planejamento e controle utilizados na montagem das estruturas, incluindo os processos logísticos.

Na etapa de desenvolvimento foi realizado o planejamento logístico da obra com o objetivo de tornar puxada a fabricação e o transporte das peças pelo processo de montagem. Para isso, inicialmente foi analisado o projeto realizado no *software* Autodesk AutoCAD®, com informações de modelagem 2D, informando o detalhamento do empreendimento. No projeto foi possível observar detalhes construtivos das peças de montagem e a localização final de cada uma. Foi também selecionado o *software* MS Project® para modelagem de precedências e estimativas de tempo das atividades a partir da criação de um fluxograma. Essa sincronização permitiu visualizar o passo a passo de cada elemento construído baseado na localização de fabricação e de montagem, facilitando a detecção de interferências com outras operações durante qualquer processo, evitando retrabalhos, movimentações desnecessárias e esperas, que não agregam valor.

**Figura 6 - Seções típicas de pré-moldados em concreto protendido**



**Fonte:** Vieira e Gontijo, 2020.

No fluxograma foram inseridos dados de montagem referentes ao vínculo entre cada componente do modelo 2D a uma atividade do plano de longo prazo a partir da definição dos fluxos físicos e a sincronização da produção. Com isso, foi possível analisar as informações, tais como nome das peças, conforme a localização ou lote de produção, com informações gráficas do *layout* do canteiro de obras, tais como acessos, possíveis áreas de descarregamento, estoques e local final de montagem.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização da empresa e do empreendimento

A empresa analisada neste trabalho faz parte da indústria da construção civil, atuando com soluções inteligentes de engenharia na área de estruturas e tecnologia do concreto, na cidade de Macaé, RJ. Tem como atividades principais: projeto e execução de estruturas pré-moldadas em concreto, manutenção industrial em estruturas de concreto e metálicas, reforço estrutural, análise de capacidade de carga e análise de ensaios destrutivos e não destrutivos. Além do envolvimento com pesquisa e inovação, visando o emprego de novos materiais e técnicas para uma engenharia mais eficiente, como estudos sobre concreto autoadensável.

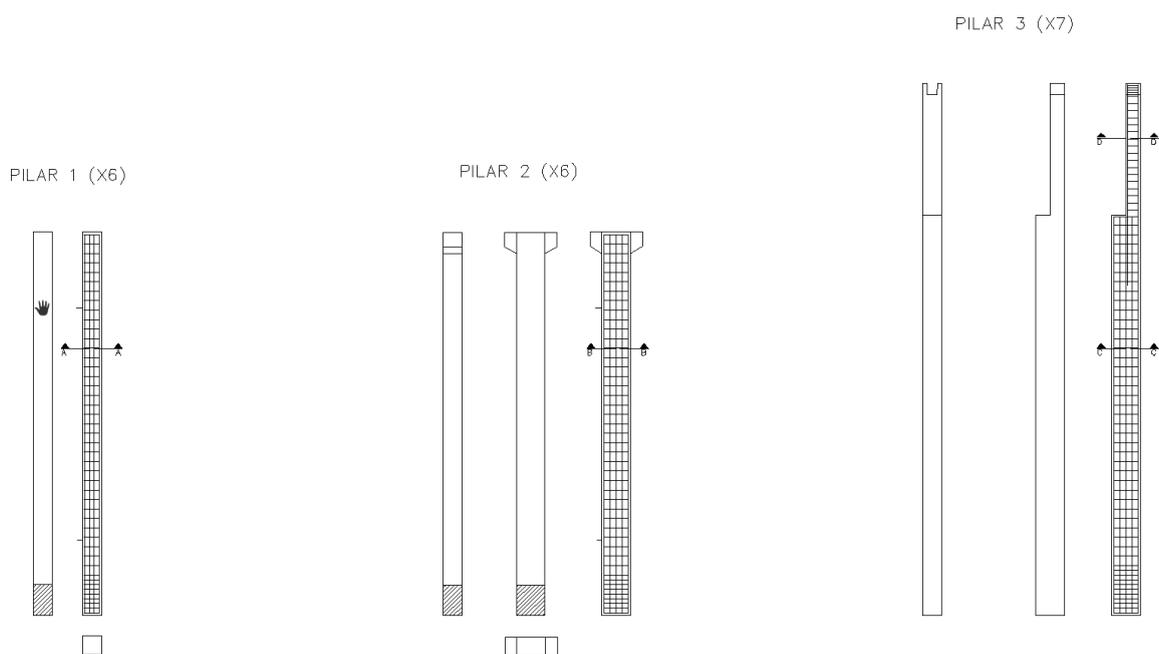
No empreendimento em andamento analisado ocorreu a construção de peças (pilares, terças e tesouras) em concreto armado e a montagem das mesmas apoiadas e com ancoragem entre os elementos, de forma a formar um novo galpão (Figura 7). A construção foi executada a partir de tesouras apoiadas parcialmente na estrutura de um galpão existente e em novos pilares pré-moldados (Figura 8) e montados no local. Além disso, houve a construção de pilares intermediários para o apoio de vigas de rolamento metálicas, instaladas na sequência.

**Figura 7 - Expansão de galpão com estruturas pré-moldadas**



**Fonte:** O autor, 2021.

**Figura 8 - Detalhe dos novos pilares**



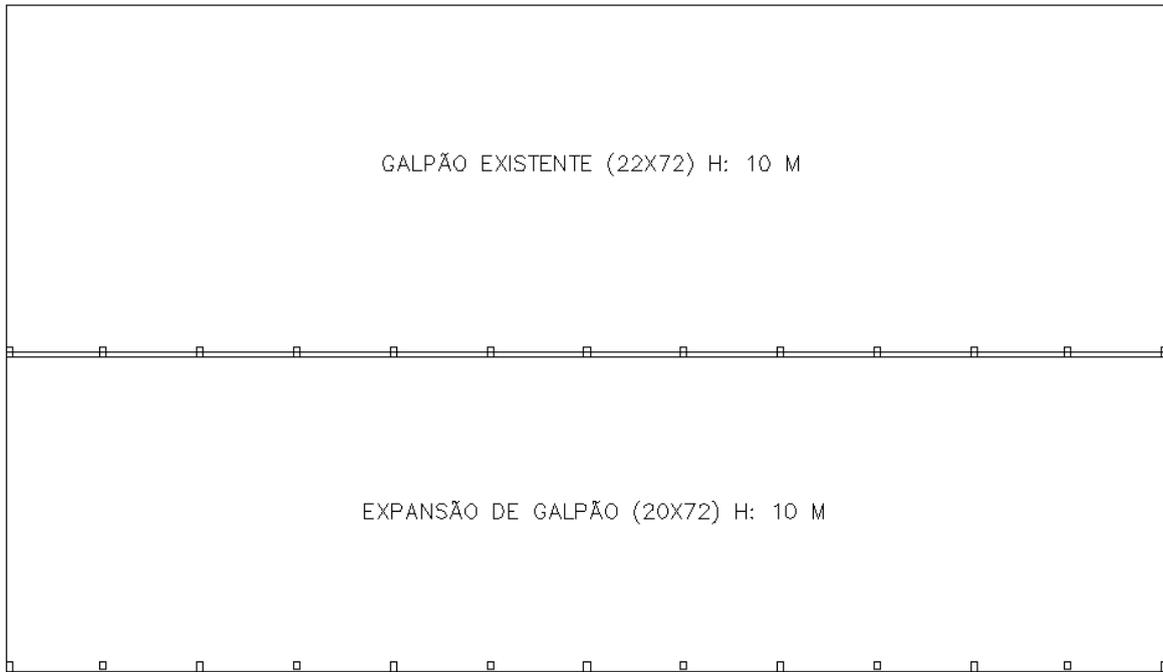
**Fonte:** O autor, 2021.

Os canteiros de obras dos empreendimentos eram do tipo amplo, onde a construção ocupa uma área relativamente pequena do terreno. Esse amplo espaço permite um maior acesso, facilitando o fluxo de pessoas, equipamentos e veículos sem obstruções. Além disso, facilita a definição das áreas de armazenamento necessárias para alocação dos componentes envolvidos e das instalações provisórias necessárias para o canteiro de obras, segundo a NR-18: instalações sanitárias, vestiário e local de refeições.

A seguir é apresentada a planta baixa (Figura 9) e as vistas lateral (Figura 10) e frontal (Figura 11) do empreendimento.

**Figura 9 - Planta baixa da expansão do galpão**

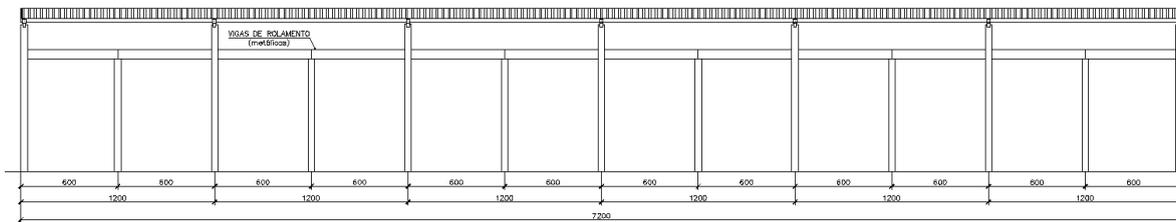
PLANTA BAIXA



Fonte: O autor, 2021.

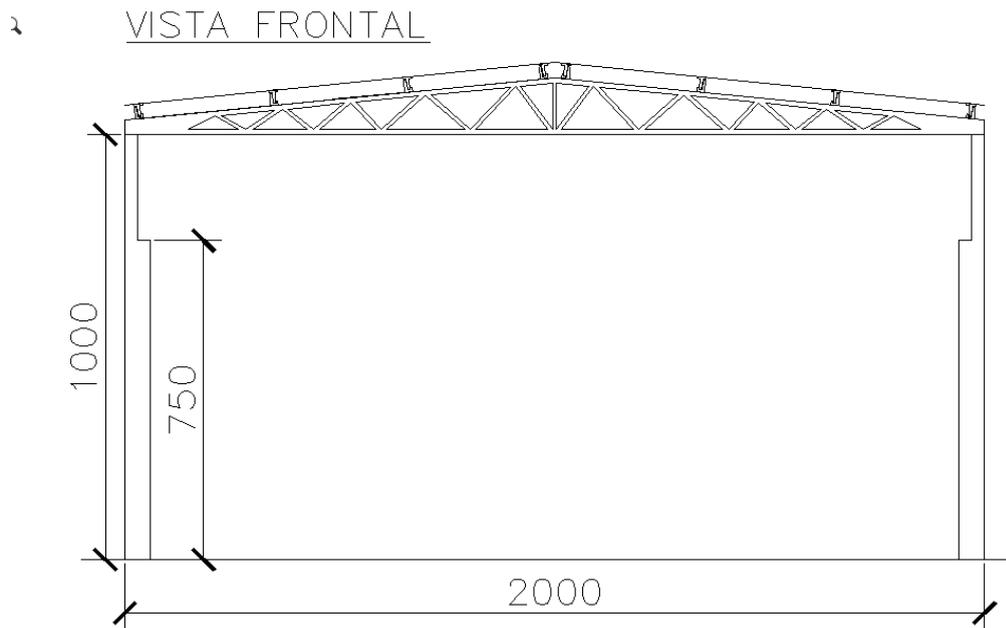
**Figura 10 - Vista lateral do galpão**

VISTA LATERAL



Fonte: O autor, 2021.

**Figura 11 - Vista frontal do galpão**



**Fonte:** O autor, 2021.

Nas áreas de vivência do empreendimento foram instalados dois contêineres como instalações móveis, em acordo com a normativa da NR-18, que serão aceitos em áreas de vivência de canteiro de obras e frentes de trabalho, desde que, cada módulo:

a) possua área de ventilação natural, efetiva, de no mínimo 15% (quinze por cento) da área do piso, composta por, no mínimo, duas aberturas adequadamente dispostas para permitir eficaz ventilação interna;

b) garanta condições de conforto térmico;

c) possua pé direito mínimo de 2,40m (dois metros e quarenta centímetros);

d) garanta os demais requisitos mínimos de conforto e higiene estabelecidos nesta NR;

e) possua proteção contra riscos de choque elétrico por contatos indiretos, além do aterramento elétrico.

#### 4.2 Planejamento dos processos de produção e montagem

O estudo foi realizado neste trabalho com base em dados de três empreendimentos da mesma empresa. O primeiro estudo foi sobre as técnicas e métodos empregados no planejamento logístico da construção de um galpão, de proporções parecidas, executado pela

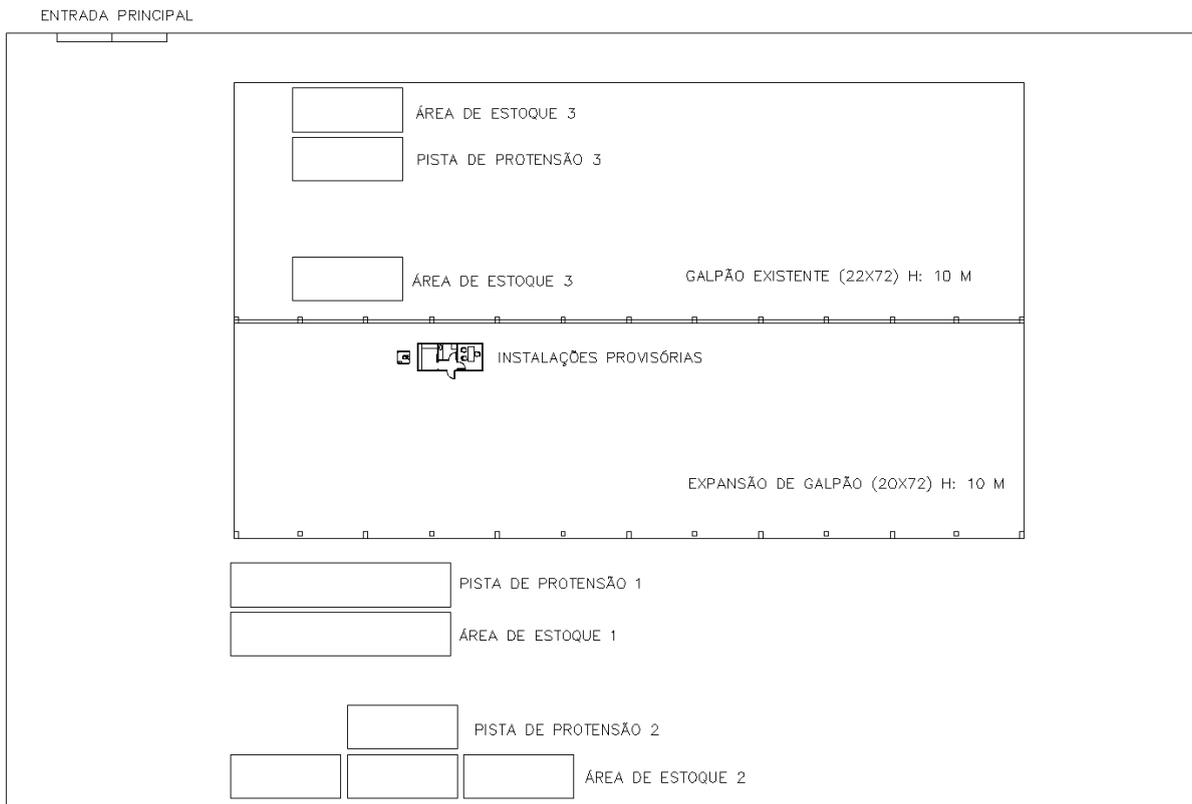
instituição estudada. O segundo empreendimento estudado foi a construção da expansão de um galpão ao lado de outro existente, desde o início das atividades até a montagem final (2021), podendo observar os fluxos de produção, o tempo de execução de cada atividade, a dinâmica dos insumos e observações sobre as disposições físicas das instalações e as interferências ocasionadas por cada configuração. O terceiro estudo foi o projeto de um novo galpão requisitado por um cliente da empresa e motivação para os estudos deste trabalho.

Inicialmente foi realizada uma análise do projeto arquitetônico e das plantas de situação e localização dos empreendimentos, de forma a compreender aspectos e características dos terrenos e de elementos ao redor que pudessem influenciar no planejamento e definição do *layout* do canteiro de obras.

As instalações provisórias foram posicionadas próximas ao acesso principal e com fácil acesso de pessoas e veículos, mantendo uma boa visualização do canteiro de obras, pois as ferramentas e outros equipamentos utilizados pelas equipes eram armazenadas nesses locais, compreendendo também o escritório de obras nessas instalações. Neste empreendimento foi utilizado banheiro químico com manutenção programada feita por uma empresa terceirizada.

A figura 12 mostra a planta de localização do empreendimento, com a identificação das áreas de estoque situadas ao lado de cada pista de protensão. Assim, é possível visualizar a entrada principal e mapear os fluxos de entrada e transporte de material dentro do canteiro de obras

**Figura 12 - Planta de localização do empreendimento**



**Fonte:** O autor, 2021.

As etapas de tomada de decisões serviram como referencial para este trabalho, pois o desenvolvimento das mesmas permite agregar e sincronizar um grupo de informações relevantes para um bom planejamento e controle do canteiro de obras. Da mesma forma, favorece o acompanhamento de todo o processo de fabricação desde o projeto até a montagem, pois é possível retroalimentar o banco de dados da Empresa A com informações cada vez mais precisas, a fim de compreender e implementar as atividades desenvolvidas.

Para os elementos pretendidos, a NBR 9062 define que a protensão deve ser executada com o emprego de meios e sistemas que permitam carregar os cabos progressivamente até se atingir a carga de projeto. Os fios ou cabos da armadura pré-tracionada podem ser tracionados individualmente ou em grupo. As alças de ancoragem devem ser de tal forma rígidas, que não permitam perdas de tensões maiores que as previstas no projeto. A tensão na armadura pré-tracionada deve ser verificada simultaneamente pela medida da força aplicada e pelo alongamento. Os aparelhos utilizados, como manômetros, células de cargas, dinamômetros e outros, devem ser mantidos devidamente calibrados e aferidos.

O processo de protensão envolve a introdução de forças de grandes magnitudes nas peças de concreto. Para isso os elementos contemplados nesse processo são: formas, macacos hidráulicos e peças de ancoragem dos cabos (Figura 13). Antes do início das atividades de produção é necessário fazer a base de concreto para instalação das pistas de protensão.

**Figura 13 - Cabeceira ativa da pista de protensão**



**Fonte:** O autor, 2021.

As atividades envolvidas na execução dos elementos pré-moldados são:

- Atividades preliminares: preparo da armadura com cortes, dobras e amarração, dosagem e mistura do concreto, transporte da armadura e do concreto misturado até a forma. No caso de concreto usinado a mistura e transporte são feitas pela usina e entregues por caminhões betoneira (Figura 15);

**Figura 14 - Base da pista de protensão das tesouras**



**Fonte:** O autor, 2021.

**Figura 15 - Concretagem da base das formas de pilar**



**Fonte:** O autor, 2021.

**Figura 16 - Base da forma concretada e nivelada**



**Fonte:** O autor, 2021.

**Figura 17 - Formas de pilares em madeira**



**Fonte:** O autor, 2021.

**Figura 18 - Transporte da armadura para a forma**



**Fonte:** O autor, 2021.

**Figura 19 - Pilares concretados**



**Fonte:** O autor, 2021.

- Execução: limpeza das formas estacionárias, aplicação de desmoldante, montagem da armadura na forma, inserção de peças complementares, fechamento de forma, lançamento e adensamento do concreto, cura do concreto e desmoldagem;

**Figura 20 - Montagem da armadura da tesoura na forma**



**Fonte:** O autor, 2021.

- Atividades finais: transporte interno de armazenamento e montagem, além de acabamentos finais, como inspeção, tratamentos e eventuais reparos.

O processo de execução utiliza formas estacionárias (Figura 21), onde a execução dos trabalhos é feita em torno das formas, ficando durante todas as atividades na mesma posição.

**Figura 21 - Concretagem de terças em pista de protensão**



**Fonte:** O autor, 2021.

A desforma é executada de maneira direta, o que implica na retirada das peças das formas por levantamento e separação dos elementos, realizada por caminhão guindaste (Figura 22). De forma a acelerar o endurecimento do concreto e liberar a forma do elemento moldado para uma nova sequência de produção de uma nova peça, deve-se utilizar cimento de Alta Resistência Inicial (cimento ARI) e aditivos para o adensamento do concreto e para uma cura mais rápida e eficiente. Deve-se atentar à hidratação para não haver perda devido às reações químicas causadas pelo aumento de temperatura que podem provocar microfissuração nos elementos e perda de resistência.

**Figura 22 - Processo de desforma de tesoura protendida**



**Fonte:** O autor, 2021.

Após a etapa de desmoldagem é iniciado o processo de movimentação das peças. Esse processo ocorre a partir de caminhão guindaste, ou caminhão munck, com capacidade de 15 toneladas métricas (t) e por guindastes que variam de 30 a 70 t. O içamento é realizado a partir de dispositivos auxiliares para manuseio das peças, denominadas alças chumbadas, devidamente posicionados de forma a não comprometer a integridade das estruturas, com menor tensão de cisalhamento possível. Este processo foi, inicialmente, de desforma e estoque das peças em uma área ao lado da pista de protensão. O processo de içamento deve ser acompanhado por profissionais qualificados, pois é considerado um dos mais importantes, pelo fato de ser um processo com grande risco de quebra dos elementos. Além disso, quando necessário uma maior movimentação das peças, o transporte é feito por carretas, como elementos de apoio aos guindastes, com 12 metros (m) de comprimento e carretas extensivas de 22 m. Na etapa de estocagem são posicionadas as peças uma ao lado da outra no canteiro de obras sem obstruir os outros fluxos, garantindo as condições necessárias para finalizar a cura do concreto, como: ter fácil acesso a algum ponto de água e ter suas laterais

desimpedidas para que os veículos de transporte possam manobrar com facilidade e sem interferências com outras áreas em sincronia com outros processos.

As soluções básicas para se conseguir ligações resistentes à flexão, chamada de ligação pilar-fundação, entre as bases dos pilares e as fundações são feitas por encaixe em cálices de fundação, onde a solidarização entre o pilar e a fundação é conseguida por meio de preenchimento com graute ou concreto nos vazios entre o pilar e as faces internas do cálice. Essa ligação é executada por meio da fixação do pilar pré-moldado em um cálice posicionado em um bloco de fundação de concreto moldado no local, podendo também ser pré-moldado (Figura 23). Esse tipo de ligação é amplamente utilizado no Brasil pela facilidade de montagem das peças e possibilidade de ajustes devido a desvios de execução, transmitindo os momentos fletores muito bem para os elementos estruturais de fundação.

**Figura 23 - Áreas de estoque de tesouras e ligação pilar-fundação**



**Fonte:** O autor, 2021.

Com o objetivo de definir os fluxos físicos envolvidos na execução das atividades e na organização do canteiro de obras, foram realizadas reuniões para desenvolver o planejamento de curto prazo da Empresa A, com a utilização dos modelos 2D e fluxograma.

As decisões tomadas em reunião tinham como objetivo a definição de equipes em cada frente de trabalho, escolha dos equipamentos necessários para cada equipe, definição dos acessos e de áreas de estoques, definição da localização das instalações provisórias, definição do traçado das vias de acordo com o fluxo de pedestres, veículos e materiais, visando a atualização do fluxograma.

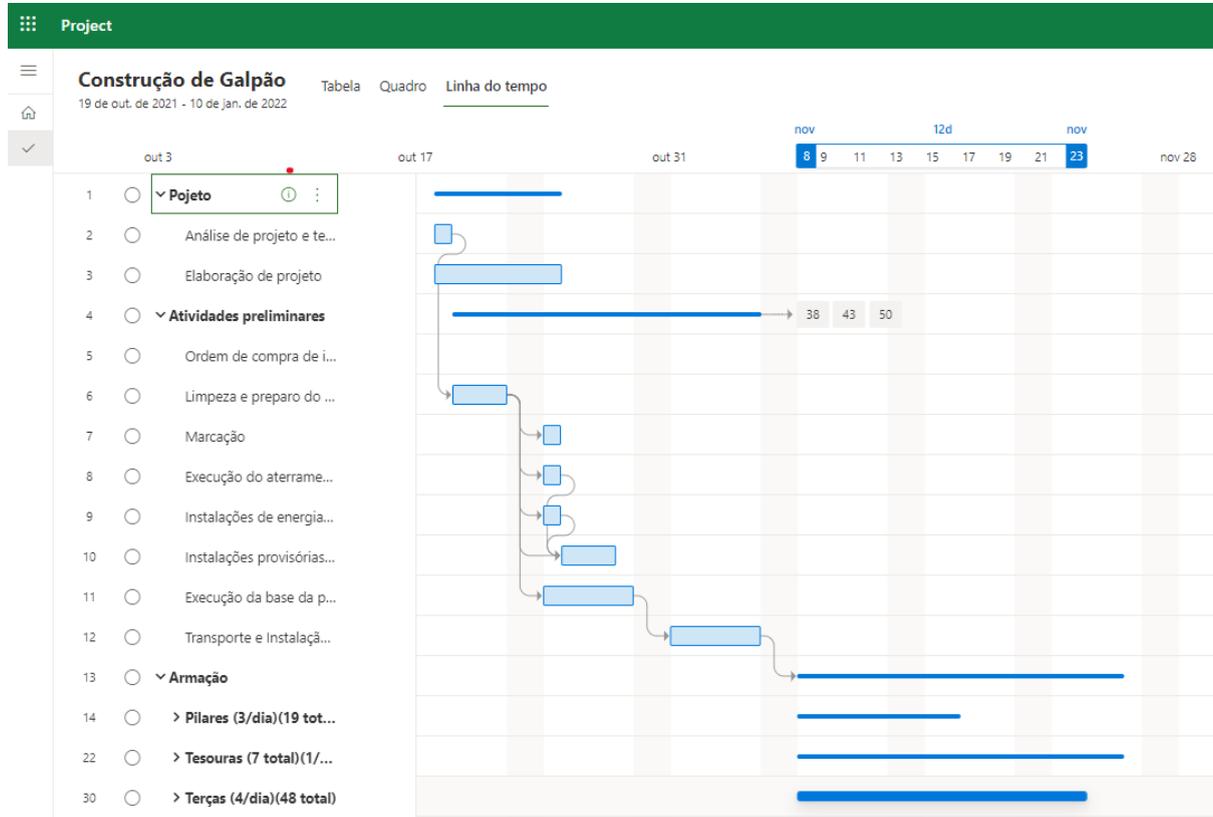
Os acessos foram definidos considerando a disponibilidade de espaço para entrada dos equipamentos e, principalmente, para os veículos de grande porte. Juntamente com o estudo dos fluxos físicos, o detalhamento da sequência de montagem foi uma das principais atividades do planejamento logístico, e, a partir deste, foram tomadas decisões sobre a forma de abastecimento de componentes no canteiro e a elaboração dos planos de cargas. O plano de cargas descreve os lotes de componentes que devem ser transportados em uma carga de caminhão e quando deve ser realizada a entrega no local dentro do canteiro. Foi criado um fluxograma, para ficar disponível no escritório da obra, para explicitar o sequenciamento de montagem de etapas, com indicação da localização da peça e da montagem (por eixos definidos em projeto), período de montagem (dias), identificação e quantidade de peças.

O sequenciamento das atividades foi desenvolvido no *software* MS Project ®, com apoio visual da linha do tempo, indicando o início e fim de cada atividade a partir da análise dos dados de produtividade das equipes envolvidas em cada etapa da construção da expansão do galpão. Porém, o início da construção ficou marcado para o dia 19 de outubro de 2021, de forma a analisar o tempo de execução e fazer comparativas com o empreendimento executado. No desenvolvimento foi possível ajustar para que as futuras produções de armaduras sejam ininterruptas, pois como a etapa de concretagem é efetuada por concreto usinado, torna possível a produção de várias peças no mesmo dia pelo grande volume de concreto disponibilizado pelos caminhões betoneira. Porém essa etapa depende da etapa de produção e montagem das armaduras, reforçando a necessidade de ter um cronograma ajustado para a produção das mesmas, e assim, minimizando a mobilização de caminhões durante a obra.

Na criação do fluxograma foi possível visualizar a quantidade de atividades a serem executadas ao mesmo tempo em cada dia, de acordo com a quantidade de colaboradores disponíveis para tais. O gráfico gerado pelo MS Project ® (Figura 24 e Apêndice A), chamado também de diagrama de Gantt, é uma ferramenta visual para controlar o cronograma de um projeto ou de uma programação de produção, ajudando a avaliar os prazos de entrega e os recursos críticos. Essa visualização favorece a criação de um cronograma de

pedidos para abastecer a obra com os equipamentos e materiais no momento certo, evitando descapitalização e estoques desnecessários.

**Figura 24 - Interface do *software* MS Project**



**Fonte:** O autor, 2021.

A partir desse sequenciamento de atividades o MS Project ® gera uma tabela (Tabela 2) desses dados descritos com exportação dos mesmos para uma planilha do Excel ®, com numeração referente às hierarquias e datas de início e término de cada atividade.

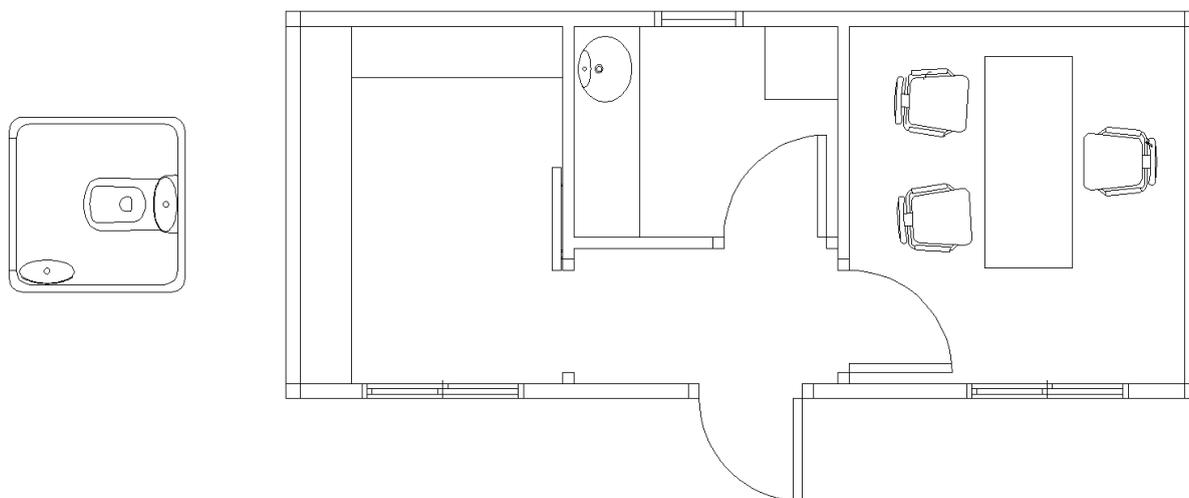
**Tabela 2 - Nível hierárquico de atividades**

Número do nível hierárquico	Nome	Duração	Início	Depende de	Concluir
<b>1</b>	<b>Projeto</b>	<b>5 dias</b>	<b>19/10/2021</b>		<b>25/10/2021</b>
1.1	Análise de projeto e terreno	1 dia	19/10/2021		19/10/2021
1.2	Elaboração de projeto	5 dias	19/10/2021		25/10/2021
<b>2</b>	<b>Atividades preliminares</b>	<b>13 dias</b>	<b>20/10/2021</b>		<b>05/11/2021</b>
2.1	Ordem de compra de insumos				
2.2	Limpeza e preparo do terreno	3 dias	20/10/2021	2 - Análise de projeto e terreno	22/10/2021
2.3	Marcação	1 dia	25/10/2021	6 - Limpeza e preparo do terreno	25/10/2021
2.4	Execução do aterramento	1 dia	25/10/2021	6 - Limpeza e preparo do terreno	25/10/2021
2.5	Instalações de energia e água	1 dia	25/10/2021	6 - Limpeza e preparo do terreno	25/10/2021
2.6	Instalações provisórias (contêineres)	3 dias	26/10/2021	6 - Limpeza e preparo do terreno, 9 - Instalações de energia e água, 8 - Execução do aterramento	28/10/2021
2.7	Execução da base da pista de protensão	5 dias	25/10/2021	6 - Limpeza e preparo do terreno	29/10/2021
2.8	Transporte e Instalação das formas	5 dias	01/11/2021	11 - Execução da base da pista de protensão	05/11/2021
<b>3</b>	<b>Armação</b>	<b>14 dias</b>	<b>08/11/2021</b>	<b>12 - Transporte e Instalação das formas</b>	<b>25/11/2021</b>
<b>3.1</b>	<b>Pilares (3/dia)(19 total)</b>	<b>7 dias</b>	<b>08/11/2021</b>		<b>16/11/2021</b>
3.1.1	P1/ P2 / P3	1 dia	08/11/2021		08/11/2021
3.1.2	P4 / P5 / P6	1 dia	09/11/2021	15 - P1/ P2 / P3	09/11/2021
3.1.3	P7 / P8 / P9	1 dia	10/11/2021	16 - P4 / P5 / P6	10/11/2021
3.1.4	P10 / P11 / P12	1 dia	11/11/2021	17 - P7 / P8 / P9	11/11/2021
3.1.5	P13 / P14 / P15	1 dia	12/11/2021	18 - P10 / P11 / P12	12/11/2021
3.1.6	P16 / P17 / P18	1 dia	15/11/2021	19 - P13 / P14 / P15	15/11/2021
3.1.7	P19	1 dia	16/11/2021	20 - P16 / P17 / P18	16/11/2021
<b>3.2</b>	<b>Tesouras (7 total)(1/2dias)</b>	<b>14 dias</b>	<b>08/11/2021</b>		<b>25/11/2021</b>
3.2.1	T1	2 dias	08/11/2021		09/11/2021
3.2.2	T2	2 dias	10/11/2021	23 - T1	11/11/2021
3.2.3	T3	2 dias	12/11/2021	24 - T2	15/11/2021
3.2.4	T4	2 dias	16/11/2021	25 - T3	17/11/2021
3.2.5	T5	2 dias	18/11/2021	26 - T4	19/11/2021
3.2.6	T6	2 dias	22/11/2021	27 - T5	23/11/2021
3.2.7	T7	2 dias	24/11/2021	28 - T6	25/11/2021
<b>3.3</b>	<b>Terças (4/dia)(48 total)</b>	<b>12 dias</b>	<b>08/11/2021</b>		<b>23/11/2021</b>
3.3.1	01,02,03,04,05,06,07,08	2 dias	08/11/2021		09/11/2021
3.3.2	9,10,11,12,13,14,15,16	2 dias	10/11/2021	31 - 01,02,03,04,05,06,07,08	11/11/2021
3.3.3	17,18,19,20,21,22,23,24	2 dias	12/11/2021	32 - 9,10,11,12,13,14,15,16	15/11/2021
3.3.4	25,26,27,28,29,30,31,32	2 dias	16/11/2021	33 - 17,18,19,20,21,22,23,24	17/11/2021
3.3.5	33,34,35,36,37,38,39,40	2 dias	18/11/2021	34 - 25,26,27,28,29,30,31,32	19/11/2021
3.3.6	41,42,43,44,45,46,47,48	2 dias	22/11/2021	35 - 33,34,35,36,37,38,39,40	23/11/2021
<b>4</b>	<b>Fabricação</b>	<b>45 dias</b>	<b>09/11/2021</b>		<b>10/01/2022</b>
<b>4.1</b>	<b>Fabricação - Pilares</b>	<b>19 dias</b>	<b>09/11/2021</b>	<b>4 - Atividades preliminares, 15 - P1/ P2 / P3</b>	<b>03/12/2021</b>
4.1.1	Preparo das formas	19 dias	09/11/2021		03/12/2021
4.1.2	Montagem de armadura e Concretagem	19 dias	09/11/2021		03/12/2021
4.1.3	Desforma e estocagem	19 dias	09/11/2021		03/12/2021
4.1.4	Montagem	19 dias	09/11/2021		03/12/2021
<b>4.2</b>	<b>Fabricação - Tesouras</b>	<b>32 dias</b>	<b>10/11/2021</b>	<b>4 - Atividades preliminares, 23 - T1</b>	<b>23/12/2021</b>
4.2.1	Preparo das formas e cabeceira	14 dias	10/11/2021		29/11/2021
4.2.2	Posicionamento das armaduras	14 dias	10/11/2021		29/11/2021
4.2.3	Protensão	14 dias	10/11/2021		29/11/2021
4.2.4	Concretagem	14 dias	10/11/2021		29/11/2021
4.2.5	Desforma e estocagem	14 dias	10/11/2021		29/11/2021
4.2.6	Montagem	14 dias	06/12/2021	42 - Montagem	23/12/2021
<b>4.3</b>	<b>Fabricação - Terças</b>	<b>44 dias</b>	<b>10/11/2021</b>	<b>4 - Atividades preliminares, 31 - 01,02,03,04,05,06,07,08</b>	<b>10/01/2022</b>
4.3.1	Preparo das formas e cabeceira	12 dias	10/11/2021		25/11/2021
4.3.2	Posicionamento das armaduras e cabos	12 dias	10/11/2021		25/11/2021
4.3.3	Protensão	12 dias	10/11/2021		25/11/2021
4.3.4	Concretagem	12 dias	10/11/2021		25/11/2021
4.3.5	Cura	12 dias	10/11/2021		25/11/2021
4.3.6	Desforma e estocagem	12 dias	10/11/2021		25/11/2021
4.3.7	Montagem	12 dias	24/12/2021	49 - Montagem	10/01/2022

Fonte: O autor, 2021.

O *layout* do canteiro de obras da expansão do galpão teve como característica a ampla disposição das áreas de fabricação e estoque. Por esse motivo, as instalações ficaram dispostas de forma distante uma das outras e sem sincronização de fluxos físicos como previsto no diagrama de Gantt, causando excesso de movimentações durante as operações no canteiro de obras. O contêiner à disposição durante a construção ficava situado ao lado do galpão existente com banheiro químico ao lado, conforme a figura 25 abaixo.

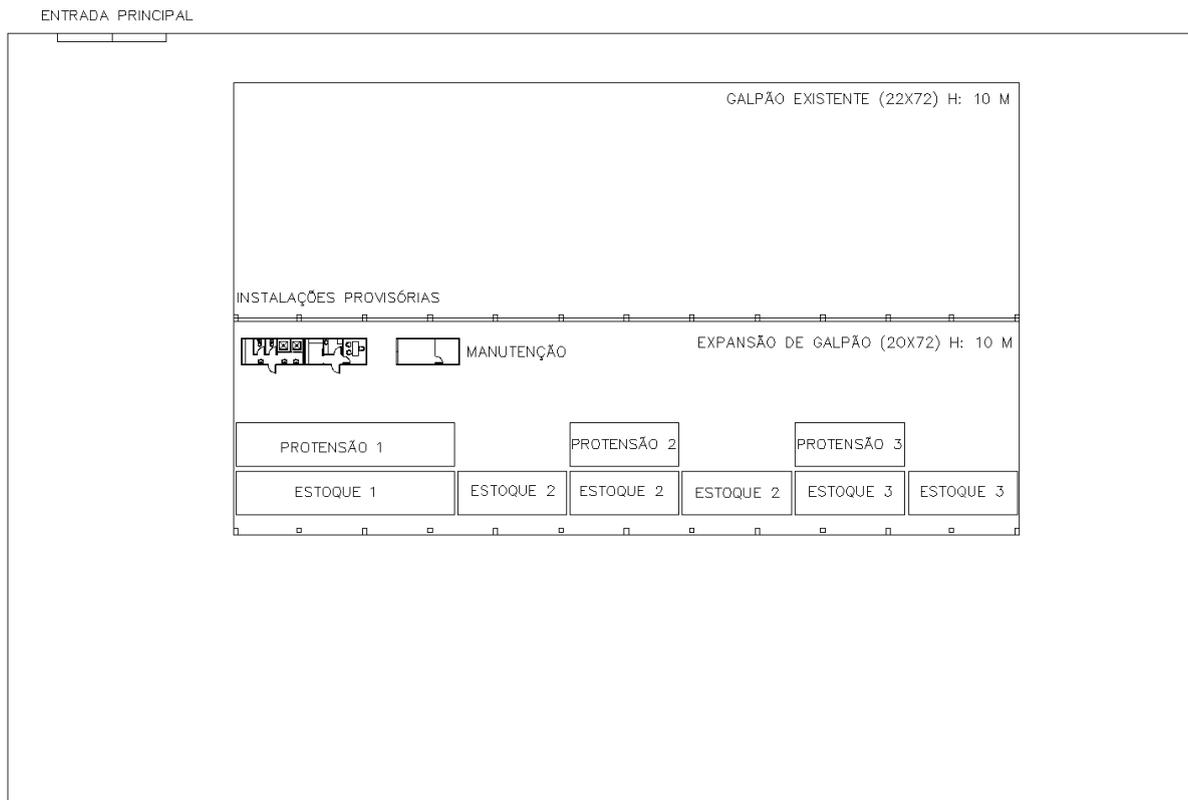
**Figura 25 - Instalações provisórias**



**Fonte:** O autor, 2021.

Assim, para definir um melhor posicionamento dessas áreas, foi proposta uma nova configuração de *layout* para o canteiro de obras (Figura 26), visando uma maior proximidade entre as áreas de fabricação, estoque e montagem. Essa nova configuração propõe um arranjo das pistas de protensão em células dispostas em linha, facilitando o trânsito de veículos de entrega e de movimentação. Além disso, foram dispostas as áreas de estoques com fácil acesso por dentro e por fora das projeções do galpão, posicionadas mais próximo do local final de montagem, liberando as áreas internas do galpão existente e o fluxo em volta das novas instalações com menores deslocamentos.

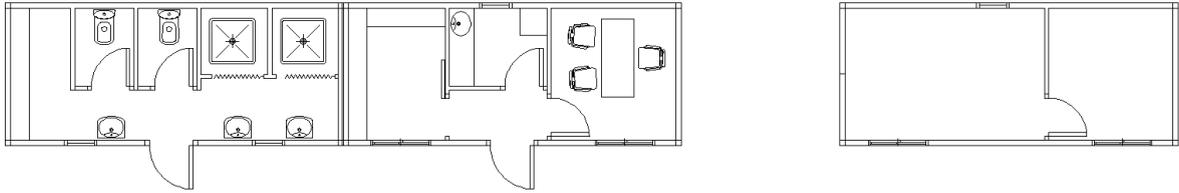
**Figura 26 - Proposta de *layout* para o canteiro de obras**



**Fonte:** O autor, 2021.

As instalações provisórias foram posicionadas nessa nova configuração mais próxima da entrada principal do canteiro de obras, de forma a ter visualização total das operações pelo gestor da obra dentro do escritório. Foi proposto o uso de dois contêineres a mais (Figura 27), contendo vestiário e banheiro em um e outro contêiner para guarda de materiais, equipamentos e ferramentas. Essa mudança proporciona mais conforto aos usuários e controle da guarda de material. Além disso, permitiu um espaço exclusivo para manutenção de equipamentos, atividade recorrente desse sistema construtivo, com auxílio da área de caldeiraria e solda.

**Figura 27 - Proposta de instalações provisórias**



**Fonte:** O autor, 2021.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusão

O presente trabalho foi composto por um estudo teórico sobre a filosofia *Lean* voltada para a Construção Civil criada por Lauri Koskela, a partir do pensamento enxuto, em articulação com o planejamento logístico de canteiros de obras. Foi considerado também o uso de ferramentas digitais para apoio ao planejamento logístico das operações de fabricação e montagem para empreendimentos construídos em pré-moldados de concreto.

Pelo fato de os sistemas pré-moldados em concreto terem algumas características específicas, diferentemente de outros sistemas industrializados, como a existência de elementos e componentes pesados e de grandes proporções, mostra a necessidade de maior gestão desse tipo de sistema. Um maior controle da produção, estoque e montagem pode proporcionar para esse método construtivo uma manufatura mais enxuta, com maior confiabilidade nos processos a partir da monitoração e análise dos dados das operações de campo.

A partir do sequenciamento das atividades foi possível ter uma melhor visualização do processo como um todo, facilitando na geração e atualização das informações quanto às atividades de montagem planejadas pelo gestor do canteiro, sendo essas combinadas com as informações da produção das peças e utilizadas para programar as cargas necessárias para o atendimento da demanda da obra. Essa visualização de início e término de cada atividade favoreceu o controle de pedidos de material, em quantidade e tempos certos.

O uso do diagrama de Gantt em obra tem fácil aplicabilidade, pelo fato de ser uma ferramenta visual, pois facilita a comunicação da equipe de engenharia com as equipes de operações. Além disso, auxilia na gestão dessas equipes com ajustes de cronograma em tempo real, a partir da atualização de produtividade e andamento das atividades.

Embora a meta seja realizar a montagem a partir da chegada às cargas das estruturas, é necessário definir áreas mínimas de estoques no canteiro de obras para liberar a frente de trabalho para a produção de uma nova peça. Essas áreas, quando possível, devem ser localizadas próximas ao local de trabalho das equipes de montagem para evitar movimentações desnecessárias.

Assim, com o presente estudo foi possível evidenciar as melhorias ocasionadas pelo uso de ferramentas digitais para o planejamento e controle logístico do canteiro de obras em sistemas pré-moldados de concreto. Baseadas na filosofia *Lean Construction*, essas

ferramentas auxiliam no desenvolvimento de projetos, como o *Last Planner System* aplicado à ferramenta computacional MS Project ®, com a criação de fluxogramas. Esses modelos podem ser utilizados em campo para o acompanhamento da obra e colaboram na reorganização na alteração de cronograma. Além disso, implementam o uso de modelos 2D, amplamente utilizados no setor da Construção Civil, com o mapeamento das informações disponibilizadas por estes modelos e permitindo uma nova forma de tratamento de dados.

A indústria da Construção Civil está se atualizando, porém muito atrasada tecnologicamente em relação a outros setores. A popularização das tecnologias para esse setor é a forma de conseguir ter cada vez mais controle sobre os processos e de ter conhecimentos mais aprofundados, a fim de se ter uma produção cada vez mais enxuta.

O aumento do número de construções que utilizam concreto pré-moldado promove a industrialização desses sistemas e torna essa metodologia construtiva cada vez mais dependente dos sistemas de informações para ter um aumento no controle e qualidade de produção, com objetivo de implementar seus processos e garantir maior confiabilidade e sincronia de manufatura.

Podemos destacar as vantagens em relação ao sistema de concreto armado convencional, como a redução de custos, dispensando o emprego de formas no local final das peças, tempo de cura, escoramentos e quantidade de funcionários na obra, reduzindo o prazo de entrega da obra.

## 5.2 Sugestão de trabalhos futuros

A partir deste estudo, foi possível concluir que existe grande potencial no uso de ferramentas BIM a ser explorado para o planejamento e controle logístico de canteiros de obra em sistemas pré-moldados em concreto. Dentre os possíveis temas para trabalhos futuros, sugere-se:

- Análise de modelos 3D para implementação do planejamento de custos em sistemas pré-moldados em concreto.
- Sincronização de modelos 3D e 4D em *softwares* de modelagem como Bentley Synchro Pro ® e Autodesk Navisworks ® para planejamento logístico de sistemas pré-moldados em concreto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR-MOLINA, M. L.; AZEVEDO JUNIOR, W. **O Ensino/Aprendizado do BIM no curso de Engenharia Civil da UFJF**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7. 2015, Recife. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2015.

AKINCI, Burcu *et al.* **Representing work spaces generically in construction method models**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 128, n. 4, p. 296-305, 2002.

AMARAL, Camila Marcantônio. **Análise dos fluxos do canteiro de obras pelo uso do diagrama espaguete**. Uberlândia: UFU, 2020.

AZEVEDO, Maria Luiza Patrocínio. **Diagnóstico e proposição de melhorias em uma micro e pequena empresa do setor de construção civil a partir da filosofia *Lean Construction***. Orientador: Prof. M.Sc, Allan Martins Cormack. 138 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2020. Disponível em:

<http://engenharias.macaee.ufrj.br/index.php/tcc/2-uncategorised/119-maria-luiza-patrocinio-azvedo>. Acesso em: 5 jul. 2021.

AZHAR, Salman. **Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks and challenges for the AEC industry**. Leadership and Management in Engineering, v. 11, n. 3, p. 241-252, 2011.

BALDAM, Roquemar. **AutoCAD® 2016: Utilizando Totalmente**. Saraiva Educação SA, 2015.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, The University of Birmingham, 2000.

BALLARD, G.; HOWELL, G. **What Kind of Production is Construction?** In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., Guarujá, 1998.

BASTO, P. E. de A.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. **O ensino de BIM em curso de graduação em engenharia civil em uma universidade dos EUA:** estudo de caso. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 45-61, out./dez. 2016.

BERNARDES, Maurício Moreira e Silva. **Desenvolvimento de um Modelo de Planejamento e Controle da Produção para Micro e Pequenas Empresas de Construção.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BORBA, M. de. **Layout.** Florianópolis, 1998.

BORBA, M. de; LUNA, M. M. M.; SILVA, F. A. B. da. **Proposta de arranjo físico para microempresa baseado no Planejamento Sistemático de Layout (PSL).** Revista Eletrônica de Produção & Engenharia, v. 6, n. 1: p. 519-531, Jan./Jun. 2014. Santa Catarina.

CAMAROTTO, João Alberto. **Estudo das relações entre o projeto de edifícios industriais e a gestão da produção.** Tese de Doutorado - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CARVALHO, J. M. C. **Logística.** 3º ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2002.

CATTANI, Felipe Schützer. **Estudo sobre aplicação da Produção Enxuta em um ambiente de construção de infraestrutura rodoviária.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CHAU, K. W.; ANSON, M.; ZHANG, J. P. **Four-dimensional visualization of construction scheduling and site utilization.** Journal of Construction Engineering and Management, v. 130, n. 4, p. 598-606, 2004

CHECCUCCI, E. de S.; AMORIM, A. L. de. **Método para análise de componentes curriculares: identificando interfaces entre um curso de graduação e BIM.** PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 5, n. 1, p. 6-17, jan./jun. 2014

CONTE, Antonio Sergio Itri; GRANSBERG, Douglas. **Lean construction: From theory to practice.** AACE International Transactions, v. 10, n. 1, 2001.

CORRÊA, Henrique Luiz; CORRÊA, Carlos Alberto. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica.** Atlas, 2008.

ČUŠ-BABIČ, N. et al. **Supply-chain transparency within industrialized construction projects.** Computers in Industry, v. 65, n. 2, p. 345–353, 2014.

DE CAMARGO BERTOLI, Rafael. **Concreto pré-moldado: execução de viga e pilares.** Orientador: Prof. Dr. Adão Marques Batista. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2007. Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1054.pdf>

DIAS, Marco Aurélio P. **Administração de materiais: uma abordagem logística.** São Paulo: Atlas, 1996.

DOS SANTOS, C. O.; RODRIGUES, T.; ALVES, G.; JONER, G.; POSSAN, E. **Proposta de melhoria de layout de uma indústria de pré-fabricados de concreto.** XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2012.

EASTMAN, Charles M. et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors.** John Wiley & Sons, 2011.

ELIAS, S. J. B. et al. **Planejamento do layout de canteiros de obras: Aplicação do SLP (Systematic Layout Planning).** Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

EL-REYES, Khaled; SAID, Hishman. **Dynamic site layout planning using approximate dynamic programming.** Journal of Computing in Civil Engineering, v. 23, n. 2, p.119-127, 2009.

FARIA, J. C. **Administração – Princípios e Técnicas**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

FERNANDES, Andréa *et al.* **Traços: Revista do centro de ciências exatas e tecnologia**. Unama, v. 4, n. 8. Belém, 2001.

FRANCIS, R. L., & WHITE, J. A. **Facility layout and location an analytical approach**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

HAWKINS, Glenn. **Industrialised, integrated and intelligent construction project logistics**. Industrialised, Integrated, Intelligent sustainable Construction, p. 163. 2010.

HOWELL, G.; KOSKELA, L. **Reforming Project Management: The Role of Lean Construction**. In: 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Brighton, 2000.

ILLINGWORTH, J. R. **Construction: methods and planning**. London: E & FN Spon, 1993.

KENSEK, K. **Building Information Modeling** (1st ed.). Routledge, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9781315797076>

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy in the construction industry**. Stanford: Stanford University, 1992.

KOSKELA, L.; HOWELL, G. **Reforming project management: The role of planning execution and control**. In: Proceedings 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-9), 6–8 August, Singapore, 2001.

KOSKELA, L.; HOWELL, G.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. **Foundations of Lean Construction.** In: Best, Rick; de Valence, Gerard. *Design and Construction: Building in Value.* Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2002.

KOSKELA, L. **Is Structural Change the Primary Solution to the Problems of Construction?** *Building Research & Information*, v. 31, n. 2, p. 85-96, 2003.

KUNZ, John; FISCHER, Martin. *Virtual design and construction: themes, case studies and implementation suggestions.* **Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University**, 2012.

LARSON, Erik; GRAY, Clifford. **Project management: the managerial process with MS project.** McGraw-Hill Education, 2013.

LESSING, J. .; STEHN, L. .; EKHOLM, A. . **Industrialised Housing: definition and categorization of the concept.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., Sydney, 2005. Proceedings... Sydney, 2005.

LI, Y.; STEPHENS, J.; RYBA, A. **Four-Dimensional Modelling on Tottenham Court Road station, London, UK.** *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, v. 167, n. 5, p. 33, 2014.

MACOMBER, H.; HOWELL, G. A. **Linguistic Action: Contributing to the Theory of Lean Construction.** *Proceedings of the 11th International Group for Lean Construction Annual Conference (IGLC11)*, Blacksburg, EUA., 2003.

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. **On-Site Oriented Capacity Regulation for Fabrication Shops in Engineer-to-Order Companies (ETO).** *Procedia CIRP*, v. 33, p. 197-202, 2015.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **Lean Construction - Leveraging Collaboration and Advanced Practices to Increase Project Efficiency.** SmartMarket Report publicado por McGraw Hill Construction. 2013. Disponível em:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Lean-Construction-Leveraging-Collaboration-and-to-Cassino/009ff67f418a92ec42c65ce65e36bf44c4595704> Acessado em: 20 de Agosto de 2021.

MONTEIRO, Fernanda Leite; MARTINS, Isabella Mattos Pasqualette. **Reflexões sobre uma Integração Conceitual das Abordagens Lean Manufacturing, Six Sigma e Teoria das Restrições na Solução de Problemas Comuns do Gerenciamento de Projetos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MUTHER, R. **Planejamento do layout: sistema SLP.** São Paulo : Edgard Blücher, 1978.

NEUMANN, C., & SCALICE, R. (2015). **Projeto de Fábrica e Layout.** Primeira Edição, Rio de Janeiro, 2015. ISBN 978-85-352-5407-5 (1ª ed.). Rio de Janeiro: Campus.

OLIVEIRA, D. P. **Sistemas, organização e métodos: uma abordagem regencial.** 20ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.

RECK, R. H. et al. **Diretrizes para a definição de lotes de montagem de sistemas pré-fabricados de concreto do tipo engineer-to-order.** Ambiente Construído, v. 20, n. 1, p. 105–127, 2020.

REGO, M. L. **Os papéis, dilemas e desafios do gerente de projetos no contexto brasileiro.** Tese (Doutorado) – PUC-RJ, Departamento de Administração, Rio de Janeiro, 2010.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da Engenharia de Produção;** tradução Eduardo Schaan. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 1996.

SKJELBRED, S.; FOSSHEIM, M. E.; DREVLAND, F. **Comparing Different Approaches to Site Organization and Logistics: Multiple Case Studies.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. Proceedings... Perth, 2015.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. São Paulo, Atlas. 2009.

TOMMELEIN, I. D. **Materials handling and site layout control**. Automation and Robotics in Construction XI, p.297-304, 1994.

TOMMELEIN, I. D. **Pull-Driven Scheduling for Pipe-Spool Installation: simulation of lean construction technique**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 124, n. 4, p. 279-288, 1998.

TOMMELEIN, I. D; ZOUEN, P. P. **Interactive Dynamic Layout Planning**. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, v. 119, n. 2, 1993.

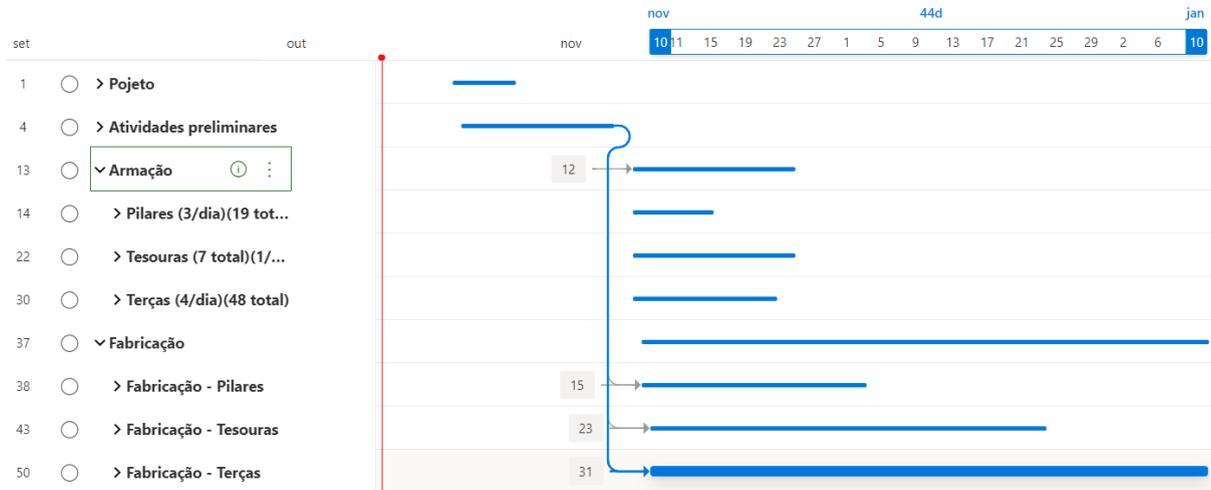
VIANA, D. D. **Integrated production planning and control model for engineer-to-order prefabricated building systems**. Porto Alegre, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

VIEIRA, Luiz Fernando de Oliveira; GONTIJO, Lorena de Sousa. **A utilização de elementos pré-moldados de concreto armado, em obras de construções civis**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/829>

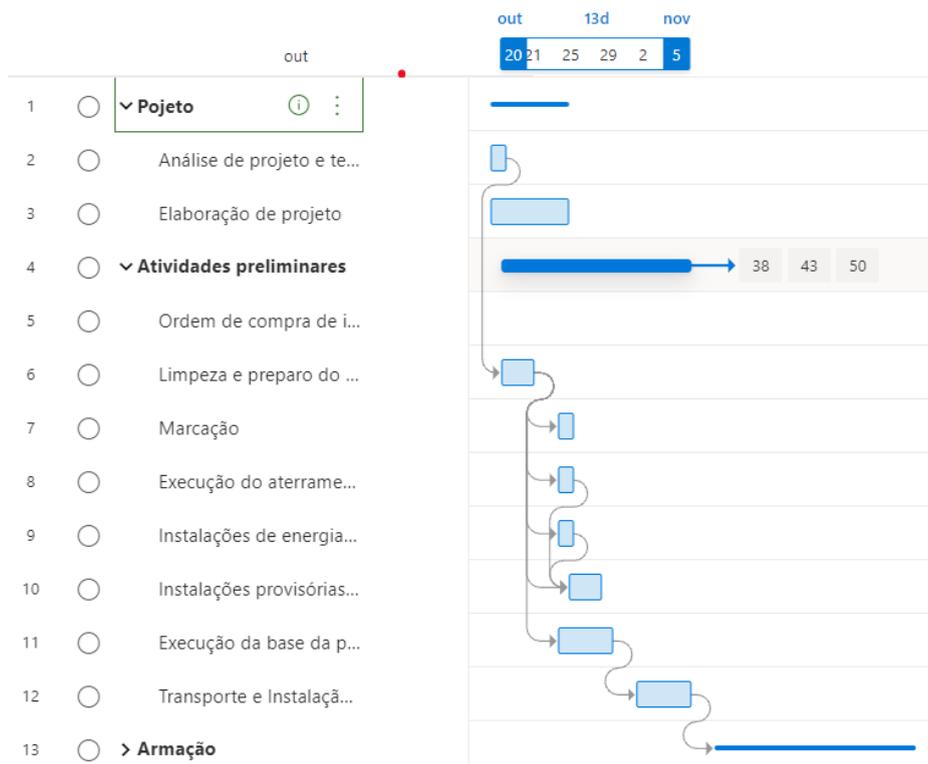
WOMACK, J.; ROOS, D.; JONES, D. **A máquina que mudou o mundo**. 4ª ed. Campus, 1992.

## APÊNDICE A - DIAGRAMA DE GANTT

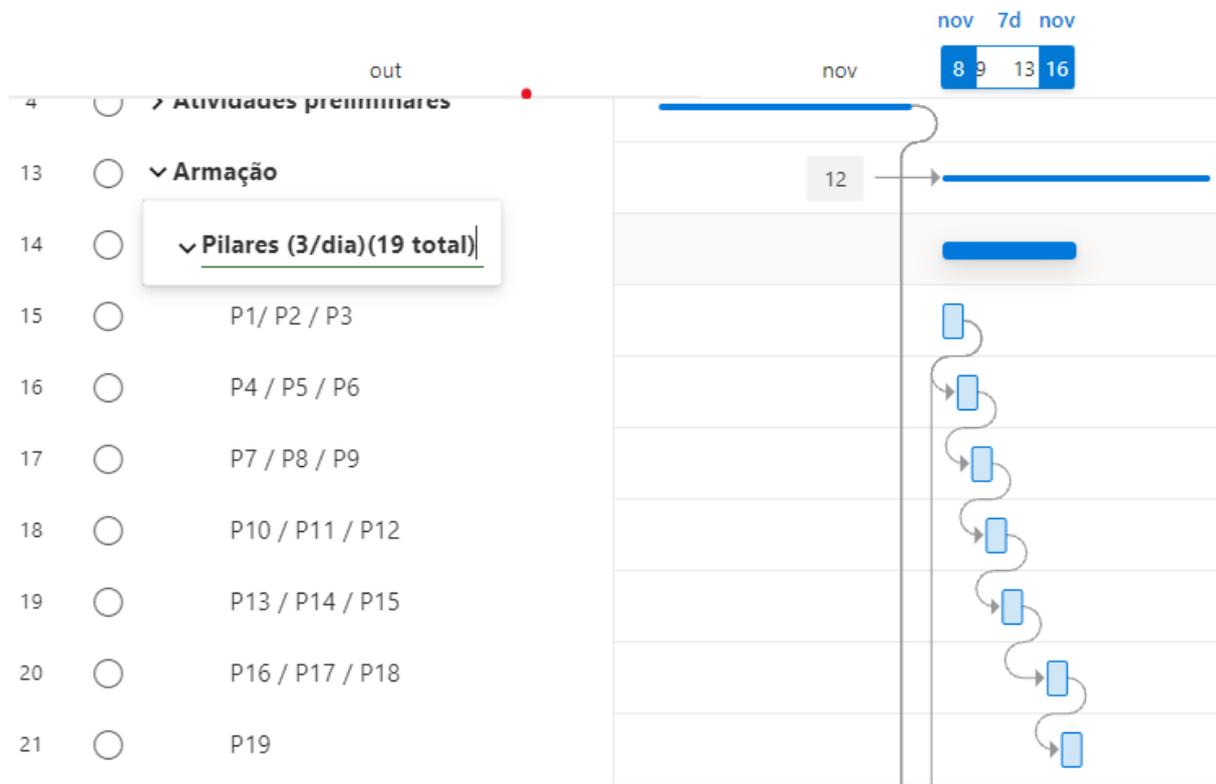
Visão geral da construção (início 19/10/2021):



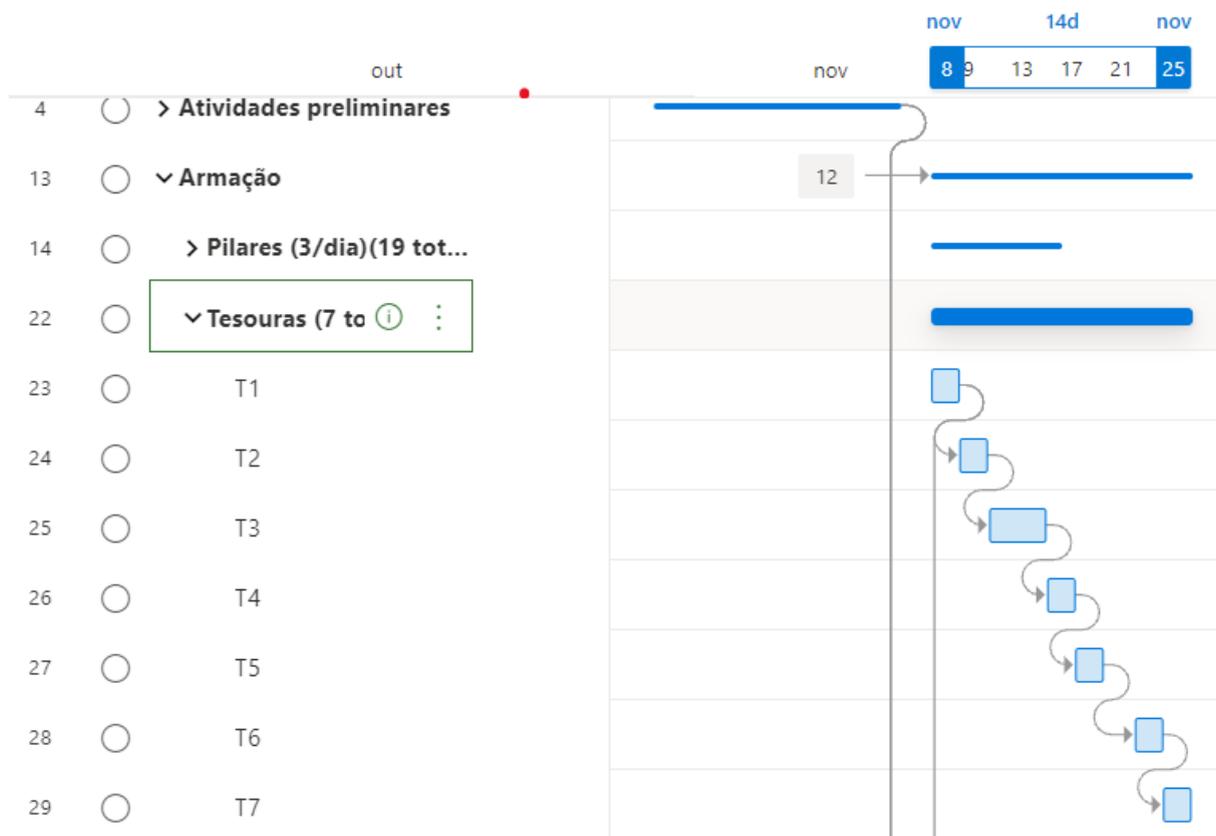
Detalhe de projeto e atividades preliminares:



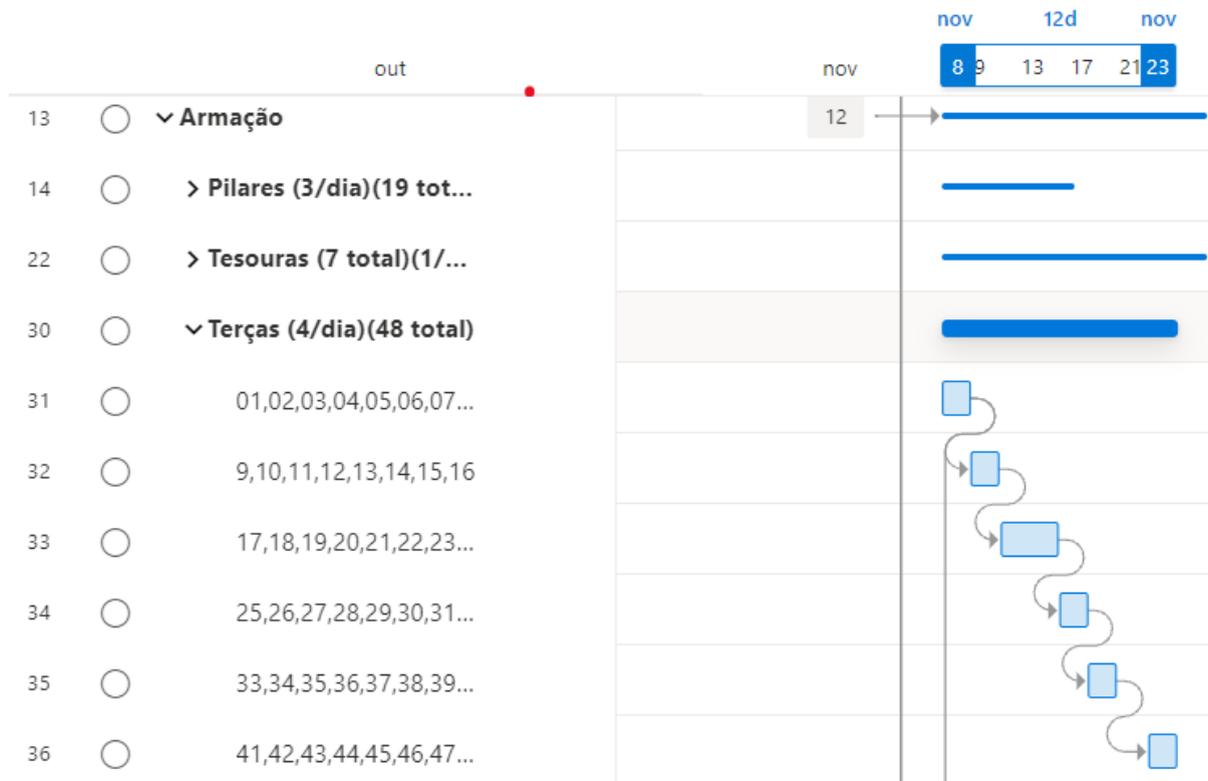
### Detalhe de Armação de Pilares:



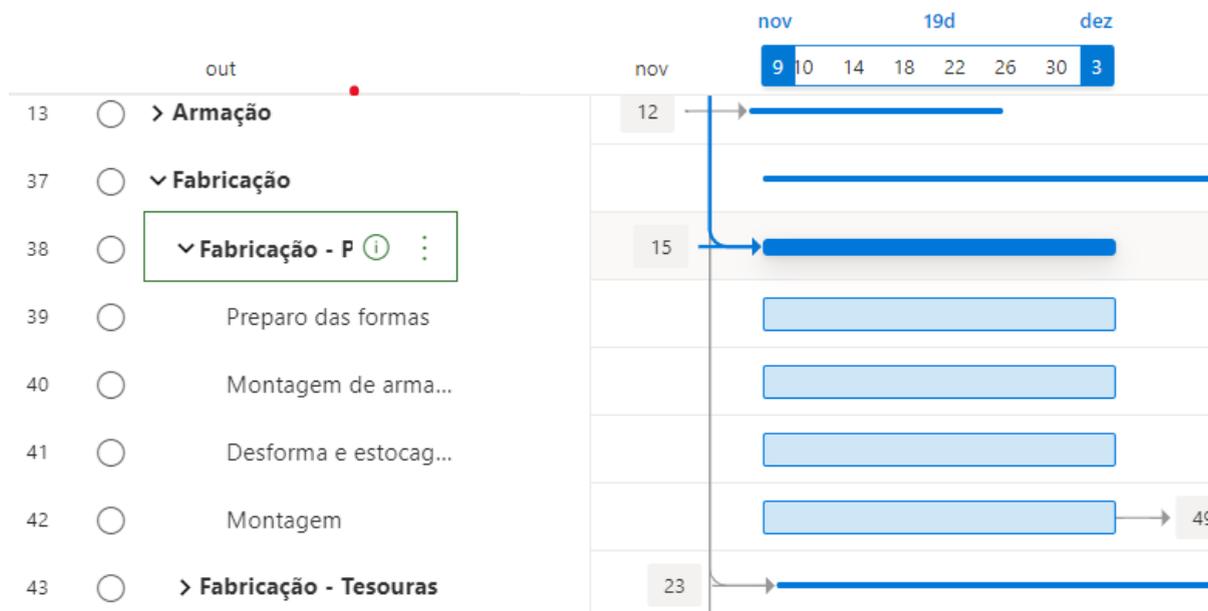
### Detalhe de Armação de Tesouras:



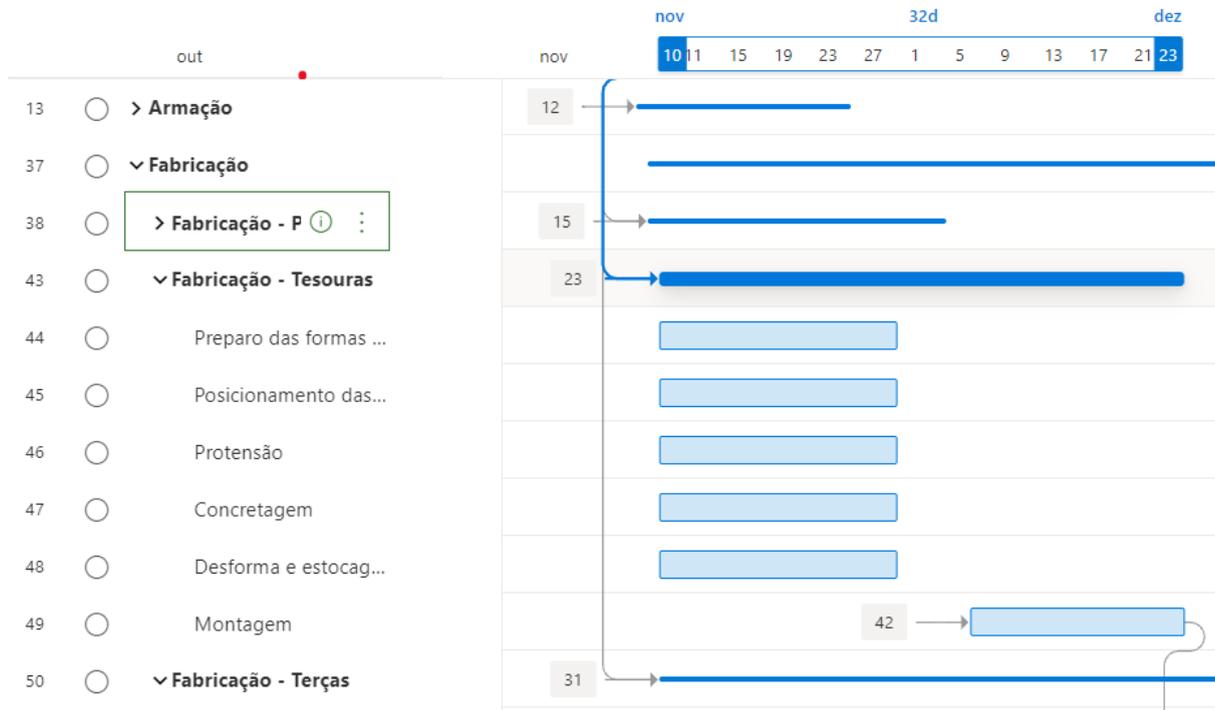
### Detalhe de Armação de Terças:



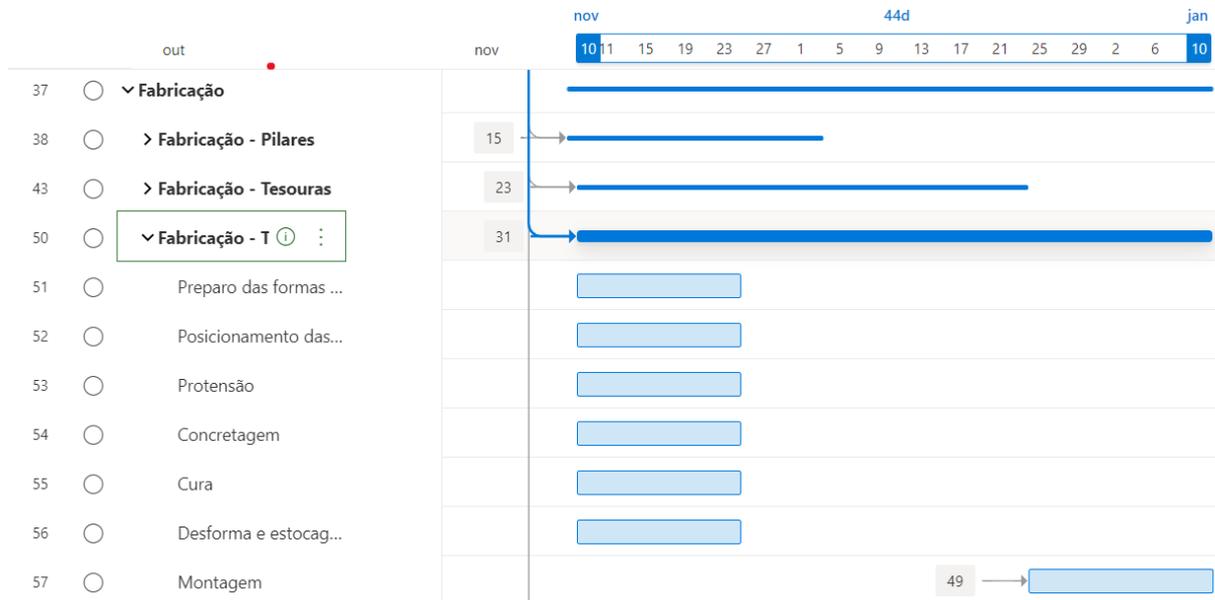
### Detalhe de Fabricação de Pilares:



### Detalhe de Fabricação de Tesouras:

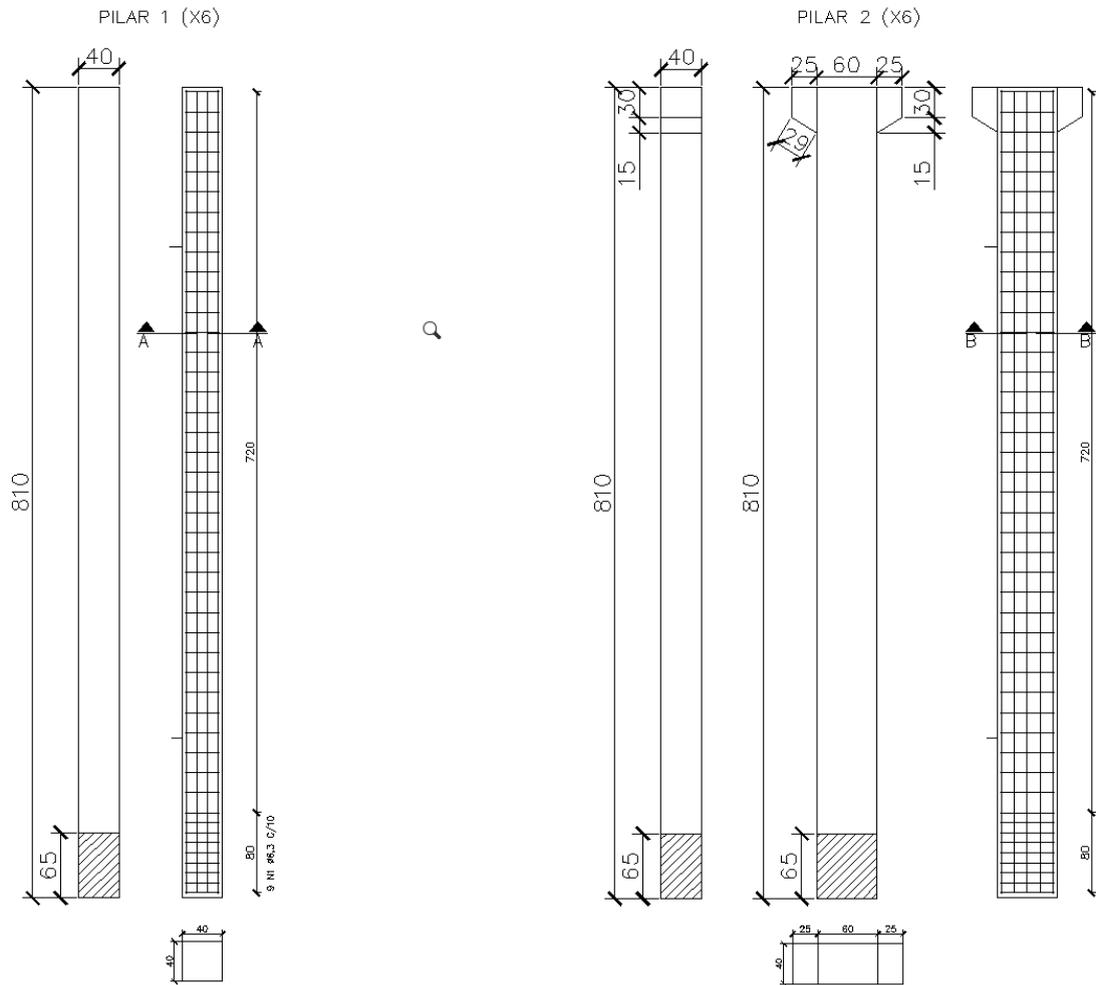


### Detalhe de Fabricação de Terças:



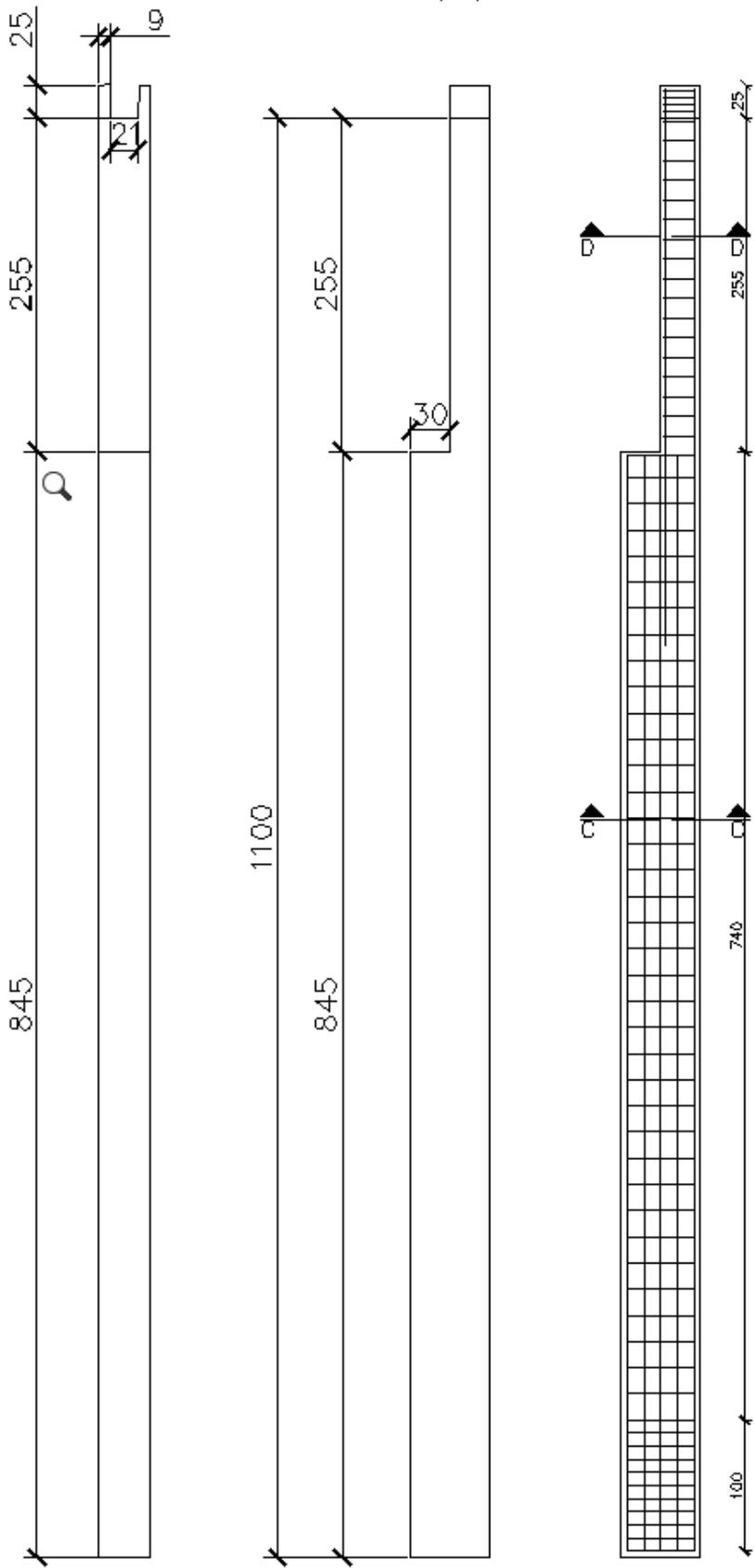
Fonte: O autor, 2021.

## APÊNDICE B - DETALHAMENTO DOS PILARES



**Fonte:** O autor, 2021.

PILAR 3 (X7)



Fonte: O autor, 2021.