



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ALBERTO DE ALMEIDA CARLOS PEIXOTO

**PROPOSTA DE LINHA DE BALANÇO NO PROCESSO DE PROJETO BASEADA
NA FILOSOFIA LEAN: MODELO PARA OBRAS DE PEQUENO PORTE**

JUAZEIRO DO NORTE

2026

ALBERTO DE ALMEIDA CARLOS PEIXOTO

**PROPOSTA DE LINHA DE BALANÇO NO PROCESSO DE PROJETO BASEADA
NA FILOSOFIA LEAN: MODELO PARA OBRAS DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso De Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Aerson Moreira Barreto.

JUAZEIRO DO NORTE

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Cariri
Sistema de Bibliotecas

P379p Peixoto, Alberto de Almeida Carlos.

Proposta de linha de balanço no processo de projeto baseada na filosofia lean:
modelo para obras de pequeno porte / Alberto de Almeida Carlos Peixoto. – 2026.
99 f. : il. color.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Ciências e Tecnologia,
Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, CE,
2026.

Orientador: Prof. Dr. Aerson Moreira Barreto.

1. *Lean Construction*. 2. Linha de balanço. 3. Gestão de projetos. 4. Construção civil –
Produtividade. 5. Obras de pequeno porte. I. Barreto, Aerson Moreira (Orient.).
II. Universidade Federal do Cariri. III. Título.

CDD 624.068

Bibliotecário: João Bosco Dumont do Nascimento – CRB 3/1355



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

“Proposta de linha de balanço no processo de projeto baseada na filosofia lean: modelo para obras de pequeno porte”

Alberto de Almeida Carlos Peixoto

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil. Área de concentração: Engenharia Civil.

Aprovada em 06 de abril de 2026.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Aerson Moreira Barreto
Orientador(a)

Prof. Dr. Ary Ferreira da Silva
1º membro examinador

Profª.Drª. Antônia Fabiana Marques
Almeida
2º membro examinador

A Deus todo Poderoso
Aos meus pais, Joaquim e Maria Dos Anjos
“ *In memoriam* ”

AGRADECIMENTOS

Há muito tempo acalentava este sonho. Muitos anos se passaram, bem distante da realidade acadêmica, até que apareceu o momento, surgiu a oportunidade, o tempo certo.

O trabalho, a família e as experiências de vida trouxeram bagagem, maturidade e tornaram o aprendizado ainda mais rico - certamente até mais saboroso que teria sido alguns anos atrás. O caminho não foi fácil, mas desafiador, e a realização de um sonho cultivado há tanto tempo foi recompensadora.

Este é um momento importante em nossas vidas. É a hora em que podemos olhar para trás e entender que nunca estivemos sozinhos, que nunca é tarde para realizar um sonho e, simplesmente, agradecer.

Agradecer, em primeiro lugar, a Deus, a quem sou eternamente grato pelo dom da vida e, sobretudo, por ter me ajudado a superar os problemas de saúde deste último ano; rogo para que possa ser instrumento da Sua vontade.

Um obrigado muito especial à família, com sentimento de amor e gratidão. Aos filhos: Bety, Caty, Fredy David e Marisa; aos netos: Marcos, Vitória, Vicente, Mateus, Afonso, Rodrigo, André e Benjamin; aos irmãos Luís, João e Celeste e restante família que se estende mesmo além-mar. De maneira muito especial à Ines, minha esposa, não tenho palavras para descrever o quanto foi e continua sendo a minha rocha e amparo; sem ela, nada disto teria sido possível. O amor da minha vida para a vida toda.

Um agradecimento também muito especial à Prof.^a Dr.^a Antônia Fabiana Marques Almeida, a qual me orientou para o acesso à UFCA, e a todos os professores que, de forma excepcional, compartilharam muito mais que conhecimento: ensinaram-me a aprender, ver e pensar.

Aos membros da banca e, em especial, ao meu orientador, Prof. Dr. Aerson Moreira Barreto, a quem fico muito grato por sua orientação e constante dedicação ao longo desta caminhada final. Uma palavra de agradecimento aos meus colegas de turma, aqueles com quem caminhei lado a lado no intuito de ajudar, contribuir, somar e estar presente.

Finalmente, quero registrar minha especial gratidão à instituição de ensino, a Universidade Federal do Cariri (UFCA) que, com seus colaboradores, fazem toda a diferença no mundo acadêmico brasileiro.

O desperdício é o maior inimigo da produtividade

Taiichi Ohno

RESUMO

A indústria da construção civil, estimula sectores bastante diversificados e contíguos, tanto a montante quanto a jusante do seu processo integrado na cadeia produtiva, gerando importantes recursos financeiros e apresentando forte participação na composição do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Sendo um indicador macroeconômico relevante, a construção civil, deve ser entendida como um sector essencial ao desenvolvimento, alvo constante de inovações tecnológicas e melhoria contínua. Sob a ótica de elevar os níveis de eficiência e produtividade, surgem novos paradigmas e filosofias de produção. *A Lean Construction* (Construção Enxuta), adaptada dos princípios da *Lean Production*, destaca-se como uma filosofia inovadora capaz de mitigar as limitações dos modelos tradicionais de gestão de projetos, frequentemente ineficazes diante da crescente complexidade, urgências e incertezas inerentes ao setor. *A Lean Production* (Produção Enxuta) tem sua origem no Sistema Toyota de Produção (TPS), Consolidado no Japão na década de 1950, fundamentando-se na excelência operacional, uso otimizado de recursos e eliminação sistemática de desperdícios. Apesar de suas raízes no chão de fábrica automobilístico, a filosofia expandiu-se para a construção civil. Entretanto, devido à alta variabilidade e características distintas da produção em massa, foram necessárias adaptações dos princípios Lean às particularidades da construção. Nesse contexto, o presente trabalho pretende analisar e propor a adaptação de métodos de gestão mais eficientes e sustentáveis. Sugere-se a aplicação conjunta da filosofia Lean Construction e ferramenta Linha de Balanço (LdB), pois estas representam conceitos promissores para uma abordagem produtiva, capaz de reduzir desperdícios, maximizar valor e atender às demandas de um mercado cada vez mais dinâmico.

Palavras-chave: *Lean Construction, Lean Production, Linha de Balanço, melhoria continua e construção civil.*

ABSTRACT

The construction industry stimulates highly diversified and contiguous sectors, both upstream and downstream of its integrated production chain, generating significant financial resources and contributing strongly to the national Gross Domestic Product (GDP). As a relevant macroeconomic indicator, construction should be understood as an essential sector for development, a constant target of technological innovations and continuous improvement. From the perspective of raising efficiency and productivity levels, new paradigms and production philosophies are emerging. Lean Construction, adapted from the principles of Lean Production, stands out as an innovative philosophy capable of mitigating the limitations of traditional project management models, which are often ineffective in the face of the increasing complexity, urgencies, and uncertainties inherent in the sector. Lean Production originates from the Toyota Production System (TPS), Consolidated in Japan in the 1950s, based on operational excellence, optimized use of resources, and systematic elimination of waste. Despite its roots in the automotive factory floor, the philosophy has expanded into civil construction. However, due to the high variability and distinct characteristics of mass production, adaptations of Lean principles to the particularities of construction were necessary. In this context, this work aims to analyze and propose the adaptation of more efficient and sustainable management methods. The joint application of the Lean Construction philosophy and the Line of Balance (LoB) tool is suggested, as these represent promising concepts for a productive approach, capable of reducing waste, maximizing value and meeting the demands of an increasingly dynamic market.

Keywords: Lean Construction, Lean Production, Line of Balance, continuous improvement and civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de Gantt.....	24
Figura 2 – Estágios do ciclo de vida de um Projeto	25
Figura 3 – Ciclo PDCA.....	28
Figura 4 – Modelo de Conversão... ..	30
Figura 5 – Toyota <i>Production System</i>	33
Figura 6 – Princípios <i>Lean Thinking</i>	36
Figura 7 – Diagrama de Gantt/Linha de Balanço.....	44
Figura 8 – Diagrama de Linha de Balanço.....	45
Figura 9 – Diagrama e Barras tarefas repetidas.....	46
Figura 10 –Linha de Balanço conceitual.....	47
Figura 11 – Curva de Processos consecutivos	48
Figura 12 – Conceitos e variáveis da Linha de Balanço.....	49
Figura 13 - Balanceamento.....	50
Figura 14 – Processos. Repetitivos.....	53
Figura 15 – Curvas não balanceadas.....	54
Figura 16 – Linha de balanço balanceada.....	55
Figura 17 – Balanceamento das atividades em programação paralela.....	56
Figura 18 – Programação não balanceada.....	57
Figura 19 – Distribuição de recursos	58
Figura 20 – Conclusão das atividades no prazo	60
Figura 21 – Aplicação da Técnica da Linha de Balanço.....	62
Figura 22 – Classificação da Pesquisa.....	64
Figura 23 – Planta Baixa do Pavimento Tipo.....	67
Figura 24 – Estrutura Analítica do Projeto.....	68
Figura 25 – Sequência dos Pacotes de Serviços.....	76
Figura 26 – Linha de Balanço (Gráfico de Barras)	97
Figura 27 – Linha de Balanço (Barras Inclinadas)	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistema convencional / Conceitos Lean.....	40
Tabela 2 – Características da edificação.....	66
Tabela 3 – Descrição dos Pacotes de Serviços.....	69
Tabela 4 – Relações de precedências.....	71
Tabela 5 – Calculo de índices de produtividade Hh/apto.....	74
Tabela 6 – Dimensionamento e Composição de Equipes.....	77
Tabela 7 – Tempo de Ciclo dos Pacotes de Atividades.....	79
Tabela 8 – Cálculo de Linha de Balanço.....	80
Tabela 9 – Duração e intervalos das atividades.....	82
Tabela 10– Calculo e Duração do ritmo das atividades.....	82
Tabela 11 –. Início e termino dos pacotes de atividades.....	83
Tabela 12 – Programação Analítica da Linha de Balanço.....	96

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil.

CAP – Capítulo.

CPM – (*Critical Path Méthode* (Método do Caminho. Crítico)

EAP – Estrutura. Analítica de um Projeto.

IGLC – *International Group for Lean Construction*.

II – Início-Início.

IT – Início-Termino.

KPI – *Key Performance Indicators*, Indicadores-Chave de Desempenho.

LC – *Lean Construction*

LCI – *Lean Construction Institute*.

LB – Linha de Balanço

LOB –. *Em inglês, (Line of. Balance) Linha de Balanço.*

PERT – *Program Evaluation and Review Technique*

MCC – Método do Caminho. Crítico.

MCL – Método de Cronograma Linear.

PCP – Planejamento e Controle de Produção.

PIB – Produto Interno Bruto

PMBOK – Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos.

PMI – *Project Management Institute* (Instituto de Gerenciamento de Projetos)

RUP – Razão Unitária de Produção.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

TCPO – Tabela de Composição de Preços para Orçamentos.

TPS – Sistema Toyota de Produção.

TI – Termino-Início.

TT – Termino-Termino.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos da Pesquisa	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	18
2.1	Planejamento e Controle da Produção (PCP)	18
2.1.1	Níveis de Planejamento.....	19
2.1.2	Benefícios do planejamento	20
2.1.3	Técnicas de Planejamento e Controle da Produção.....	21
2.1.3.1	PERT/CPM.....	22
2.1.3.2	Gráfico de Gantt.....	23
2.2	Estágios do Ciclo de Vida de um Projeto	24
2.2.1	O Ciclo PDCA.....	26
2.3	Sistema de Produção Convencional.....	28
2.4	Sistema Toyota de Produção	30
2.5	Lean Manufacturing	31
2.6	Pilares do Lean Production	32
2.7	Princípios do Lean Production.....	33
2.8	Lean Thinking	34
2.9	Lean Construction.....	36
2.10	Lean Construction e Linha de Balanço	40
2.11	Introdução e Princípios da Linha de Balanço.	41
2.12	Evolução da Linha de Balanço.	42
2.13	Linha de Balanço (LOB).....	43
2.13.1	Técnica da Linha de Balanço	45
2.13.2	(LOB) Processos. Consecutivos	46
2.13.3	(LOB) Processos Repetitivos	51
2.13.4	Balanceamento das Atividades.....	53
2.13.5	Aplicação da Linha de Balanço.....	58
3	METODOLOGIA	62
3.1	Classificação da Pesquisa.....	62

3.2	Contextualização da Pesquisa	63
3.3	Metodologia da Pesquisa	64
3.4	Descrição do Projeto e Estudo de Caso	64
3.4.1	Metodologia e Estrutura da Simulação	65
3.4.2	Planejamento e Linha de Balanço.	65
3.4.3	Determinação da unidade base (repetição).....	66
3.4.4	Identificação das atividades.....	67
3.4.5	Definição das Precedências	70
4	RESULTADOS E DISCUÇÕES.....	71
4.1	Determinação das Quantidades	71
4.2	Determinação das Equipes	75
4.3	Duração das Atividades	76
4.4	Balanceamento das Atividades.....	79
4.5	Ritmo e Duração das Atividades.....	80
4.6	Prazos de Execução da Obra	81
4.7	Determinação de equipes.	82
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	84
	APÊNDICE A	96
	APÊNDICE B.....	97
	APÊNDICE C	98

1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil está presente no cotidiano das pessoas, embora muitas vezes de forma imperceptível, interagindo em diversos meios que se influenciam e se interlaçam. Isso a torna um forte indicador do estado econômico de um país, sendo um sector fundamental para o bem-estar e o desenvolvimento econômico e humano. Reconhecida por sua importância estratégica, a construção civil é um setor extremamente dinâmico e participante ativo em qualquer economia, constituído por uma vasta cadeia produtiva formada, na base, por fornecedores de insumos, indústrias e prestadores de serviços, além de ser um sector de forte expressão no cenário do desenvolvimento econômico brasileiro.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção CBIC, o setor teve um desempenho destacado em 2024, registrando um crescimento de 4,3% e encerrando o ano com um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 359,523 bilhões (CBIC, 2025). Barbosa et al. (2017) acrescentam que o sector da construção civil representa 13% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial. Não obstante, outros estudos mostram que o setor continua sendo um dos menos produtivos, isto é, uma parcela bastante significativa dos insumos - horas de trabalho, materiais, instalações e equipamentos - são desperdiçados na produção das obras (Rathnayake & Middleton, 2023).

(Fraga, 2020; Galon *et al.*, 2021) caracterizam também o setor como de baixa produtividade, eficiência e eficácia, apresentando alta rotatividade de mão de obra e ausência de padronização de processos, frequentemente focado em menores preços em detrimento da valorização do planejamento, gestão estratégica e controle da produção. Entretanto, no atual cenário de mercado globalizado e acelerada transformação digital, a implementação de sistemas avançados de Planejamento e Controle da Produção (PCP) é indispensável para a competitividade organizacional, influenciando diretamente a eficiência operacional e os resultados finais das empresas (Oliveira *et al.*, 2020).

Estudos recentes corroboram a necessidade de uma gestão cada vez mais eficiente, destacando o PCP como pilar fundamental no sucesso de qualquer empreendimento da construção civil. Autores recentes, como Mattos (2022) e Bezerra (2024), afirmam que estratégias robustas de gerenciamento exigem uma abordagem hierárquica, integrando horizontes de curto, médio e longo prazo, com vigilância contínua das metas das equipes e programações diárias detalhadas. Contudo, de acordo com a natureza e tipo de projeto, existem técnicas e metodologias diversificadas, capazes de proporcionar excelentes desempenhos na gestão, planejamento, controle e programação de projetos. Entre as quais se destaca a Linha de

Balanço (LOB) como técnica fundamental para obras repetitivas, pois equilibra ritmos de produção e assegura fluxo contínuo, reduzindo ociosidade (Moura & Heineck, 2021). Estudos recentes reforçam que essa metodologia, ao integrar a visualização espacial e temporal, permite otimizar equipes e alcançar produção máxima (Sienge, 2025). Em consonância com a necessidade de previsibilidade, este trabalho propõe a aplicação da Linha de Balanço como programação das atividades de um edifício, com o objetivo de substituir os métodos tradicionais por um planejamento dinâmico.

1.1 Justificativa

A indústria da construção civil, apesar de sua relevância econômica, historicamente apresenta um descompasso no desenvolvimento de técnicas gerenciais quando comparada a outros setores industriais, caracterizando-se por processos fragmentados, baixos índices de produtividade e elevado desperdício de recursos (FRANCO, PICCHI, 2016).

Estimativas da McKinsey & Company (2025) indicam que ineficiências operacionais e retrabalho podem aumentar em até 30% o custo total de uma obra. Diante deste panorama, este trabalho justifica-se pela necessidade de modernização na gestão da produção, focando na aplicação prática de sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) baseados na filosofia *Lean Construction* (Construção Enxuta) em pequena e médias obras, um segmento com alto potencial de otimização, mas ainda resistente a inovações.

O estudo contrapõe a persistência de métodos tradicionais de gestão, evidenciando que a adoção de conceitos modernos não se restringe a grandes construtoras, sendo viável e necessária para o aumento da competitividade em menores escalas. A *Lean Construction* busca a otimização de recursos e melhoria na previsibilidade de prazos e custos através da redução de desperdícios (FALCONI, 2025).

Nesse contexto, este trabalho destaca a sinergia entre a filosofia Lean e a ferramenta Linha de Balanço (LOB), que é considerada imprescindível para garantir o ritmo contínuo das atividades e o balanceamento de equipes, permitindo uma visualização espacial e temporal do fluxo de trabalho (SIENGE, 2025). A aplicação conjunta dessas técnicas permite a identificação atempada de gargalos, otimiza recursos garantindo a sincronia entre as frentes de trabalho, mitigando assim os altos custos de consertar erros, apontados no setor por (McKINSEY, 2025).

Portanto, a pesquisa justifica-se por proporcionar um aprofundamento teórico-prático sobre novas ferramentas de PCP, demonstrando, por meio de um estudo de caso, os benefícios da Construção Enxuta na redução de perdas, cumprimento de prazos e controle de custos,

alinhando-se com as necessidades de industrialização e sustentabilidade da construção civil local, e de forma mais ampla, brasileira.

1.2 Objetivos da Pesquisa

Em um cenário de essencialidade e crescente volatilidade econômica, a construção civil brasileira enfrenta a premente necessidade de otimização de processos para aumentar sua eficiência operacional e reduzir o desperdício, que pode representar entre 3% a 8% dos custos de obra. Fundamentado nessas tendências, este trabalho tem como objetivo estudar e divulgar a filosofia *Lean Construction* (Construção Enxuta), adaptada da indústria automobilística, como ferramenta de gestão de produção a obras públicas e privadas.

Embora consolidada internacionalmente há décadas, a aplicação da filosofia Lean no Brasil tem ganhado força com integração de ferramentas de planejamento, como a Linha de Balanço (LOB), visando a melhoria contínua e previsibilidade nos canteiros. O estudo aborda a origem, os conceitos fundamentais e as ferramentas da construção enxuta – especificamente o planejamento de médio/longo prazo – com o propósito de fomentar a maturidade operacional no setor. Ademais, analisa-se a integração da LOB com os princípios Lean como estratégia de sucesso para a redução de perdas de tempo e otimização de fluxos de trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor diretrizes de planejamento e gestão de obras, fundamentadas nos princípios do *Lean Construction* e na metodologia de Linha de Balanço, visando otimização de processos e a redução de desperdícios.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar os princípios norteadores da *Lean Construction* aplicados ao planejamento e gestão de obras via Linha de Balanço;
- Identificar os principais parâmetros técnicos que fundamentam o planejamento e controle de obras pela metodologia da Linha de Balanço;
- Compreender os conceitos fundamentais das metodologias *Lean Construction* e Linha de Balanço;

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A revisão bibliográfica faz parte integrante desta pesquisa e fundamenta-se, quase exclusivamente, na consulta de literatura bibliográfica, tal como: artigos, monografias, teses, livros e publicações relacionados com o tema do trabalho, ou seja, Planejamento e Controle da Produção, Linha de Balanço conjuntamente com a filosofia *Lean*, designadamente a divulgação e aplicação da *Lean Construction*.

2.1 Planejamento e Controle da Produção (PCP)

O planejamento e Controle da Produção é entendido, na construção civil, como um sistema de gestão indispensável, que harmoniza as demandas do empreendimento com a capacidade produtiva interna, equilibrando recursos disponíveis e metas estratégicas para otimizar o fluxo produtivo (Cardoso, 2021).

Planejar envolve determinar o volume e o momento da produção, enquanto o controle supervisiona a execução para identificar não conformidades, assegurando a adequação do processo (FORMOSO, 2003).

No setor da construção civil, devido à singularidade de cada obra e à complexidade na gestão de materiais e mão de obra, um planejamento assertivo de curto, médio e longo prazo é importante para a redução de atrasos e custos (Mattos, 2022).

O planejamento operacional pressupõe a previsão de demanda, o estabelecimento de metas e a definição dos recursos necessários para sua execução, enquanto o controle envolve monitorar, aferir e corrigir os desvios em relação ao planejado (TRACTIAN, 2026; SEBRAE, 2022). O Planejamento e Controle da Produção (PCP) consolida-se, portanto, como uma ferramenta indispensável para a gestão eficiente e a competitividade do setor de construção civil. Em qualquer organização, o PCP alinha as diretrizes estratégicas ao sistema produtivo, promovendo a redução de desperdícios e a maximização de índices de qualidade e produtividade (SENIOR, 2025).

No Brasil, o setor da construção civil foi o pioneiro na utilização de técnicas de planejamento e controle de projetos, enfrentando o desafio contínuo de que "cada obra é um novo projeto", o que exige sistemas de controle semanais eficientes para garantir a conformidade dos prazos e custos (SIENGE, 2024; LIMA *et al.*, 2024). Diante da crescente modernização industrial, as empresas são estimuladas a buscar novas estratégias de PCP – como a digitalização e a automatização – para otimizar custos, reduzir prazos e aumentar a qualidade

(VIEIRA, 2025). O Planejamento e Controle da Produção moderno, atua ativamente na maximização do uso de matérias primas e habilidades da mão-de-obra, garantindo maior competitividade num mercado dinâmico (NOMUS, 2025; MOURA; NASCIMENTO, 2024).

2.1.1 Níveis de Planejamento.

De acordo com uma abordagem contemporânea da gestão, o planejamento não é restrito apenas ao alto escalão, mas divide-se por todos os níveis gerenciais da organização. No entanto, sua eficácia está condicionada à capacidade de adaptação às incertezas do mercado, alterando o horizonte de tempo (longo, médio ou curto prazo) e o nível de detalhamento conforme o nível hierárquico, que se divide em: estratégico, tático e operacional (ALLSTRATEGY, 2025)

a) - O Planejamento estratégico, atuando no horizonte de longo prazo, estabelece as diretrizes mestras da obra, definindo metas globais, orçamentos preliminares, fluxo de caixa macro e o layout preliminar do canteiro, alinhando a obra aos objetivos da organização (Adaptado de CBIC, 2025)

b) - Planejamento tático ou de médio prazo atua como o elo entre a estratégia da alta gestão e a execução operacional, viabilizando recursos, antecipando restrições e definindo a sequência das atividades para garantir o cumprimento das metas estratégicas de prazo e custo (SCOREPLAN, 2023).

c) - Planejamento operacional (curto prazo) concentra-se na produção semanal, protegendo o canteiro de obras contra incertezas e imprevistos. É neste nível que se realiza a programação detalhada e a alocação de pacotes de trabalho às equipes, visando o controle de eficiência diária da produção (SIENGE, 2023).

Embora o Gráfico de Gantt e o método PERT/CPM sejam pilares na gestão de projetos para mapear dependências e caminhos críticos, eles apresentam limitações na otimização de recursos em cenários de alta repetição de tarefas (OUTBUILD.com, 2023).

Técnicas tradicionais de planejamento, com PERT/CPM, são eficientes para definir a duração mínima e a sequência de atividades de projetos complexos, focando em atividades críticas, mas podem não explorar a curva de aprendizagem em obras repetitivas (Sienge.com.br, 2025).

Para projetos com alto grau de repetitividade – como edifícios de múltiplos pavimentos e obras lineares – a metodologia da (LOB) é superior, pois prioriza o ritmo de produção e a continuidade da equipe, superando a visão estática do Gantt (SCHMIDT, 2022 – Repositório.

ufsc.br) A linha de balanço se consolida como a técnica mais adequada para garantir a produtividade e o balanceamento de recursos em obras sequenciais, permitindo a visualização da repetição de serviços e a otimização da equipe (PREVISION, 2021 - [Webinar]. Acelere suas obras)

2.1.2 Benefícios do planejamento

O planejamento de uma obra supera a simples organização do canteiro; ele se consolida como uma ferramenta estratégica imprescindível para uma gestão de alto nível, permitindo o domínio absoluto dos pormenores construtivos e garantindo maior eficiência na condução dos trabalhos, evitando improvisos e retrabalhos (MATTOS, 2020).

A necessidade de o gestor possuir conhecimento e domínio total do projeto e seus pormenores construtivos, desde a fase preliminar, é um pilar consolidado na literatura de engenharia.

Mattos (2010) enfatiza que apenas o estudo detalhado e a preparação prévia do planejamento proporcionam ao profissional o domínio dos projetos, a análise dos métodos construtivos, a identificação da produtividade prevista no orçamento e a determinação dos períodos uteis em cada frente de trabalho. Contudo, pesquisas recentes indicam que falhas na fase de planejamento, frequentemente tardias ou ineficientes, continuam sendo a causa principal de retrabalho, ineficiências e custos adicionais na construção civil. Estudos brasileiros recentes reforçam que a baixa maturidade no planejamento é o ponto crítico que impede a melhoria da produtividade nos canteiros de obra (SENIOR, 2025).

O domínio antecipado das situações desfavoráveis e dos indícios de desconformidade, defendido por Mattos, é hoje potencializado por tecnologias digitais e validação colaborativa, que permitem ao gestor tomar medidas preventivas e corretivas, minimizando impactos no custo e prazo. A ausência de planejamento e controle sistemático resulta em ações corretivas tardias, frequentemente tornando os atrasos e os prejuízos financeiros irreversíveis. Nesse cenário, a integração entre o orçamento, o cronograma e a realidade de campo são cruciais para garantir a viabilidade técnica e econômica do empreendimento (PINTO et al., 2021).

O planejamento e o controle de produção são os pilares para a previsibilidade no canteiro de obras, garantindo que as metas orçamentárias se traduzam em execução eficiente. A análise continua permite uma visão real do progresso, fornecendo dados confiáveis para decisões gerenciais críticas, tais como: a mobilização, e desmobilização de equipamentos, o

redirecionamento de equipes, a agilidade na compra de insumos e a aplicação de métodos construtivos mais rápidos (ARMAC, 2020)

Ao integrar o planejamento orçamentário com a programação física, o engenheiro de planejamento torna possível identificar gargalos (desproporções) e implementar oportunidades de melhoria de produtividade. Ferramentas modernas, como a gestão de valor agregado e o balanceamento de recursos, são essenciais para equilibrar a carga de trabalho, evitando a ociosidade ou a sobrecarga de equipes (OLIVEIRA, 2025).

Adicionalmente, a análise do cronograma permite ao gerente da obra gerir as *folgas das atividades* (caminho crítico), o que é essencial para a resiliência do cronograma. A folga não é tempo perdido, mas sim um recurso estratégico para o engenheiro, permitindo flexibilidade na alocação de recursos estratégicos, manuseio de imprevistos, e garantia de cumprimento dos prazos finais (CAMARGO, 2020). A análise de desempenho, com o uso de indicadores (KPIs) (Indicadores- Chave de Desempenho), permite que a empresa se destaque no mercado e garanta produtividade.

Conforme Mattos (2022) o uso de um cronograma referencial (*baseline*) é indispensável, pois serve como guia de comparação entre o planejado e o realizado em campo, permitindo ações corretivas imediatas. Essa estruturação, unifica o foco da equipe, alinha o “plano de ataque” e melhora a comunicação, evitando falhas de execução e retrabalhos, enquanto o diário de obra cria um histórico técnico essencial.

2.1.3 Técnicas de Planejamento e Controle da Produção

A gestão de projetos na construção civil contemporânea fundamenta-se na aplicação rigorosa de técnicas de planejamento e controle para organizar, monitorar e otimizar cronogramas, com foco no gerenciamento do tempo, dependências entre tarefas e ritmo de execução (MATTOS, 2022). Essas ferramentas operacionais não apenas mapeiam o fluxo de trabalho, mas são cruciais para identificar gargalos, garantir a alocação eficiente de recursos - pessoal, materiais e equipamentos – e assegurar a previsibilidade da obra.

O planejamento busca definir a sequência lógica de atividades para garantir a execução mais eficiente e econômica possível. Para isso utiliza-se a modelagem de interdependências lógicas – Término-Início (TI), Início-Início (II), Término - Término (TT), ou Início-Término (IT) – que definem predecessoras e sucessoras, garantindo a integração dos pacotes de trabalho (PMI, 2013).

Entretanto, no cenário atual, observa-se uma mudança de paradigma na priorização das técnicas de planejamento. Essa evolução fundamenta a necessidade de analisar as principais abordagens utilizadas na construção civil:

- **Método do Caminho Crítico (MCC/CPM):** Historicamente decisivo na gestão de projetos, foca excessivamente na sequência de atividades e menos no fluxo de trabalho contínuo sendo ideal para obras com baixa repetitividade. (ZACK JR; COLLINS, 2013).
- **Linha de Balanço (LDB ou Line of Balance – LOB):** Popularizada por empresas com foco em Lean Construction e com forte presença na Finlândia, Áustria e Brasil, destaca-se como técnica superior para o planejamento de tarefas repetitivas (ex: edifícios, loteamentos), permitindo visualizar o ritmo de produção, a velocidade da equipe e a continuidade das atividades (NEW SCIENCE, 2025; SIENGE, 2026).

Com base nesse contexto, este trabalho aborda as principais técnicas de planejamento utilizadas na construção civil, analisando suas aplicações e limitações:

- 1 **Estrutura Analítica do Projeto (EAP/WBS):** Decomposição hierárquica do escopo total, fundamental para organização no gerenciamento de riscos de atraso.
- 2 **Método do Caminho Crítico (MCC/CPM):** Identificação das atividades que determinam o prazo final da obra, focando no gerenciamento de riscos de atraso.
- 3 **Linha de Balanço (LDB):** Técnica para planejamento de obras repetitivas, baseadas no balanceamento de equipes e ritmo de produção (Lean Construction).
- 4 **Gráfico de Gantt (Cronograma de Barras):** Visualização temporal das atividades, ideal para comunicações rápidas.

2.1.3.1 PERT/CPM.

Técnicas baseadas em rede, fundamentais para determinar a duração total da obra, identificar o caminho crítico – sequência de atividades que não podem sofrer atrasos – e avaliar as folgas.

As técnicas PERT e CPM foram desenvolvidas na década de 1950. Em 1957, os engenheiros Morgan Walker, da Dupont, e James Kelley, da Remington Rand, investigaram a correlação tempo-custo para projetos de engenharia. Após análises, concluíram que o cerne da questão estava na identificação das atividades críticas para acelerar o projeto, sem incorrer em

aumento significativo de custo. Walker e Kelley desenvolveram, assim, o *Critical Path Method* (Método do Caminho Crítico), frequentemente referido pela sigla CPM (SIENGE, 2025).

O método PERT/CPM é uma ferramenta essencial para o planejamento, sequenciamento e controle de atividades, visando otimizar prazos e custos. Ele combina a análise de redes (CPM), ideal para projetos com atividades bem definidas e durações determinísticas, e a estimativa probabilística (PERT), focada em incertezas, permitindo identificar o caminho crítico – a sequência de tarefas que ao se atrasarem, atrasam todo o projeto (MATTOS, 2019).

2.1.3.2 Gráfico de Gantt

O Diagrama de Gantt ou gráfico de barras é uma das ferramentas mais clássicas e visuais na gestão de projetos. Foi introduzido no início do século XX, pelo engenheiro norte americano, Henry Gantt (aproximadamente entre 1910-1915) para auxiliar no controle de produção, inicialmente aplicado em cenários complexos como a construção de navios (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017).

O Gráfico de Gantt consolidou-se como uma ferramenta fundamental na gestão de projetos, destacando-se por sua visualização clara e intuitiva, que simplifica a compreensão da cronologia e da posição relativa das tarefas. Para Bitrix24, (2025), sua grande vantagem é a simplicidade e a capacidade de comunicação visual com stakeholders.

Entretanto, segundo Canva (2024), a estrutura tradicional de barras apresenta limitações técnicas, com a dificuldade em evidenciar interdependências complexas entre atividades, a falta de identificação automática de folgas e a não visualização direta do caminho crítico.

Para contornar essas deficiências, o planejamento moderno evoluiu para a integração de metodologias, incorporando as redes PERT/CPM ao gráfico de barras tradicional (ARTIA, 2023). Essa versão aprimorada, conhecida como *Cronograma integrado Gantt-PERT/CPM*, permite que o gestor visualize o cronograma temporal ao mesmo tempo em que controla as dependências, folgas e o caminho crítico do projeto.

A Figura 1 apresenta o cronograma na forma de gráfico de Gantt, evidenciando três atividades estruturadas verticalmente e distribuídas em um horizonte temporal de 15 dias no eixo horizontal.

Figura 1- Gráfico de Gantt

ATIVIDADES	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab	Dom	Seg
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Atividade A															
Atividade B															
Atividade C															

Fonte: Mattos (2010)

A evolução visual do gráfico de Gantt evolui de uma simples barra de cronograma para um Gantt-PERT/CPM integrado, combinando a clareza visual das barras com a inteligência lógica das redes de dependência para evitar gargalos (SMARTSHEET, 2020)

No entanto, a limitação do Gantt tradicional, embora o Gráfico de Gantt clássico seja inigualável na visualização do progresso, segundo Planyway, (2024), ele falha nas interdependências complexas e o caminho crítico, deficiências superadas pela integração com as metodologias de rede como PERT/CPM.

Todavia existem pontos de comparação entre o Gráfico de Gantt clássico, o Gantt-PERT/CPM e o PERT/CPM. O Gantt clássico tem um visual simples com foco em barras de tempo, enquanto o PER/CPM é mais técnico e focado em lógica, dependências e caminho crítico, já o Gantt-PERT/CPM é a integração que une a visualização simples ao planejamento inteligente.

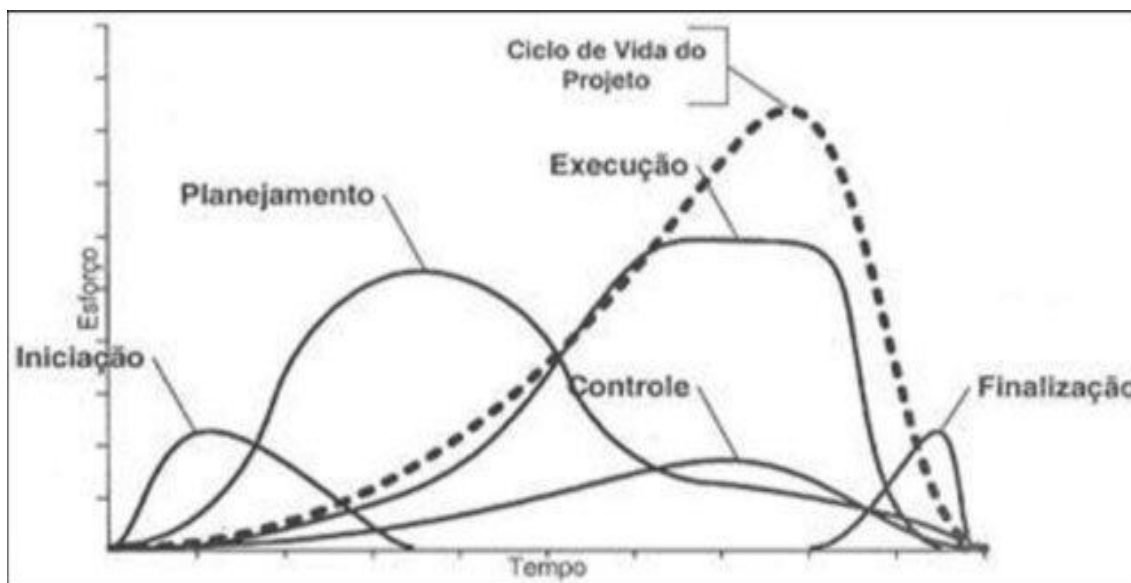
2.2 Estágios do Ciclo de Vida de um Projeto

O gerenciamento de projetos, conforme estruturado pelo PMI, utiliza grupos de processos interativos que passam através das fases do ciclo de vida, não se limitando a elas, para sistematizar a execução das tarefas (PMI, 2021)

Os grupos de processos do Guia PMBOK (2008) configuram agrupamentos de atividades de gestão – iniciação, planejamento, execução, monitoramento/controle e encerramento – essenciais e interconectados, que operam sequencialmente, mas que não se confundem com as fases do ciclo de vida do projeto (PMI, 2024).

A figura 2 exemplifica graficamente as diversas fases do ciclo de vida de um projeto ao longo do desenvolvimento de qualquer empreendimento.

Figura 2 –Estágios do ciclo de vida de um projeto



Fonte: Guia PMBOX (2024)

- **Estágio I – Iniciação - (Concepção e Viabilidade).**

A fase de iniciação define o propósito do projeto, realiza a análise de viabilidade, identifica as partes interessadas (stakeholders) e autoriza formalmente o início do novo projeto.

A iniciação envolve “identificar as necessidades, riscos, restrições e viabilidade de um projeto”, definindo os objetivos iniciais e quem são os *stakeholders*. O foco é criar o Termo de Abertura do Projeto (TAP) para formalizar a autorização, alinhando o projeto à estratégia organizacional (AEVO, 2024).

- **Estágio II – Planejamento (ondas sucessivas)**

Esta etapa define o escopo detalhado, objetivos e ações, como planejamento sofrendo alterações iterativas conforme novas informações surgem, caracterizando o planejamento em ondas sucessivas.

O planejamento em ondas sucessivas é uma técnica de “elaboração progressiva”, definida pelo Project Management Institute (PMI, 2021) como um método iterativo onde o trabalho de curto prazo é detalhado e o de longo prazo permanece de alto nível.

- **Estágio III – Execução**

As principais atividades desse estágio são a execução do projeto, abrangendo desde a construção das estruturas físicas até o controle de qualidade, administração contratual e fiscalização das atividades.

A fase de execução envolve a coordenação de recursos, equipe e o engajamento dos *stakeholders*, além de lidar com solicitações de mudança técnicas e contratuais que surgem durante o trabalho (ASANA, 2026).

- **Estágio IV – Monitoramento e Controle.**

O Monitoramento e Controle, agem como o radar do projeto, mensurando o progresso real contra o planejado para implementar ações preventivas ou corretivas imediatas.

O monitoramento e o controle ajudam a medir o desempenho do projeto, analisando o plano, revisando o status, identificando problemas e implementando mudanças quando necessário (SMARTSHEET, 2025).

- **Estágio V – Encerramento, ou Finalização**

A fase do Encerramento formaliza a entrega final, garantindo a aceitação do cliente, a lições aprendidas e o arquivamento de documentos para projetos futuros.

É o estágio focado no feedback do cliente, na conclusão de contratos e na transição do produto, garantindo a satisfação das partes interessadas. Mesmo que simplificada, a aceitação e o feedback do cliente sobre o produto final são essenciais para o encerramento, evitando o abandono de projeto (TRENTIM, 2020).

2.2.1 O Ciclo PDCA.

A partir do final dos anos 80, a gestão de obras absorveu princípios fundamentados de planejamento, destacando a melhoria contínua (*Kaizen*) como pilar para o controle permanente e ajuste de procedimentos, visando o alcance das metas de desempenho. Esse princípio é centralizado no Ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar, Agir), cuja representação ilustra a necessidade de planejamento e controle contínuos e paralelos ao avanço físico da obra (MATTOS, 2010). Embora concebido por Walter Shewhart na década de 1920, foi William Deming quem popularizou o ciclo na década de 1950, tornando-o base da Qualidade Total (TQM).

Deming, como figura central na reconstrução industrial japonesa, estabeleceu as bases da Gestão da Qualidade Total (TQM – *Total Quality Management*) por meio de seus famosos 14 princípios de gestão, publicados em sua obra clássica “Saia da Crise” (*Out of the Crisis*)

Segundo estudos que interpretam as diretrizes de Deming (como Mattos, 2010, os princípios da gestão voltada à qualidade incluem:

- **Constância de propósitos:** Foco contínuo na melhoria de produtos e serviços para garantir a competitividade, permanência no mercado e geração de empregos.

- **Incorporação da qualidade no estágio inicial (Prevenção):** A qualidade deve ser projetada e construída no produto desde a fase de design, eliminando a dependência da inspeção em massa.
- **Trabalho em equipe e quebra de barreiras:** Necessidade de integração entre departamentos, promovendo a cooperação para antecipar problemas e desenvolver soluções conjuntas, superando barreiras departamentais.
- **Engajamento e melhoria contínua:** O processo de melhoria não é competência exclusiva de um setor, mas uma responsabilidade sistêmica de todos os colaboradores sustentada pela filosofia de melhoria contínua (Kaizen) (DEMING, 1986; MATTOS, 2010).

Segundo Alves Neto et al. (2024), O ciclo PDCA é uma metodologia de gestão focada na melhoria contínua, amplamente reconhecida como uma ferramenta de qualidade estratégica, cuja aplicação não apenas potencializa a lucratividade das empresas, mas também aprimora a qualidade de produtos e processos produtivos.

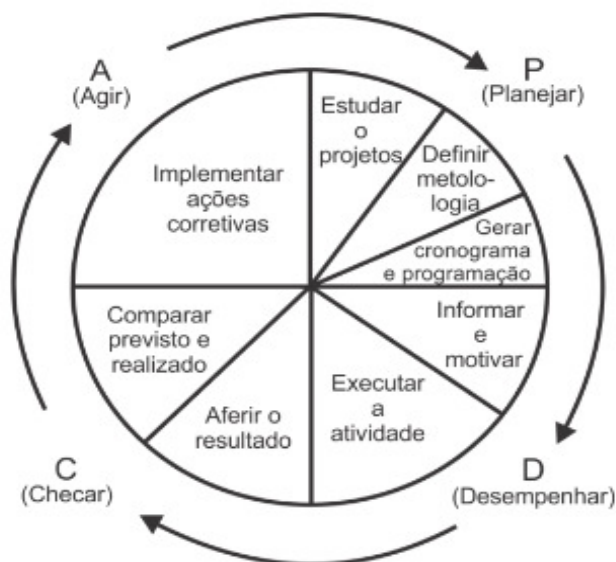
Complementando essa visão, Oliveira (2024) destaca o PDCA como um método estratégico para a solução organizada de problemas e a padronização de procedimentos, viabilizando a otimização de processos de forma estruturada.

Funcionando como uma metodologia iterativa de gestão de qualidade, o PDCA é estruturado em quatro etapas fundamentais – **Planejar**, **Do (Fazer)**, **Check (Verificar)** e **Act (Agir)** – sendo indispensável para a padronização de processos organizacionais.

A Figura 3 ilustra o Ciclo PDCA, composto por ações ordenadas e entrelaçadas, dispostas graficamente em círculo, onde cada quadrante, corresponde a um estágio do processo de gestão:

- **P (Plan – Planejar):** Estabelecimento de metas e planos de ação.
- **D (Do – Fazer):** Execução do plano de ação e coleta de dados.
- **C (Check – Checar/Verificar):** Avaliação dos resultados obtidos frente aos objetivos.
- **A (Act – Agir/Atuar):** Adoção de ações corretivas ou padronização dos resultados bem-sucedidos.

Figura 3 – Ciclo PDCA



Fonte: Mattos (2019)

A utilidade do PDCA, enquanto instrumento de promoção da melhoria contínua e identificação de novas oportunidades de incremento processual, vai além da resolução de problemas (MOURÃO, 2025). O propósito do ciclo é informar de forma clara, a equipe do projeto, que não basta apenas planejar, mas sim, observar e aplicar o conjunto de todos os preceitos nas diversas etapas. Não basta delinear a metodologia, os prazos e os recursos, sem um monitoramento eficiente e fiel aos resultados, inicialmente previstos.

O ciclo PDCA (Plan-Do- Check- Act) é estruturado como uma metodologia iterativa de gestão, baseada no método científico, voltada para a melhoria contínua e a solução de problemas. Segundo ASQ, (2024) ele funciona como um modelo dinâmico de aprimoramento de processos – planejando mudanças, executando testes, verificando resultados e padronizando ações eficazes – de modo que o encerramento de um ciclo gera a base para o início do próximo, promovendo o aprendizado contínuo.

2.3 Sistema de Produção Convencional

A filosofia *Lean Construction*, introduzida por Lauri Koskela no início dos anos 90, revolucionou a gestão da construção civil ao propor um paradigma que supera o modelo tradicional de produção. Segundo Stecla (2024), o modelo tradicional limita-se a uma visão de “conversão”, focada exclusivamente na transformação física de insumos em produtos acabados, muitas vezes negligenciando perdas de tempo e fluxos desnecessários.

Em contrapartida, a *Lean Construction* entende a produção como um fluxo contínuo e não apenas como um conjunto de conversões isoladas. Esta abordagem holística abrange tanto as atividades de conversão quanto as atividades de Fluxo (espera, transporte, inspeção), buscando eliminar os desperdícios que não agregam valor ao cliente.

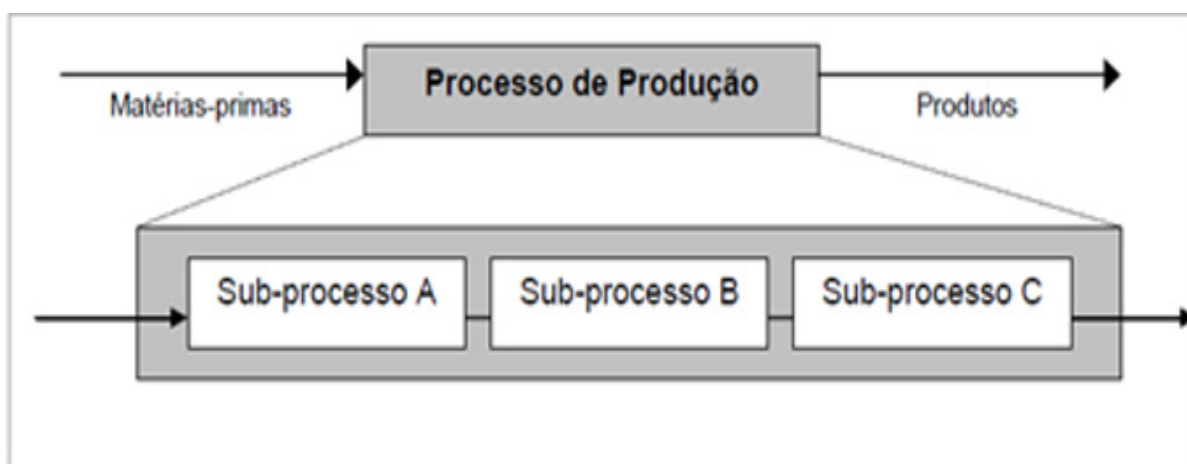
Estudos recentes indicam que o *Lean Construction* promove aumentos significativos na produtividade e qualidade ao longo da cadeia produtiva, através da aplicação de princípios que incluem a redução da variabilidade, transparência dos processos e melhoria contínua. O modelo enxuto baseia-se na produção puxada, buscando a estabilidade e a organização no canteiro de obras, conforme apontam autores como Sienge (2025) e pesquisas na Revista FT (2024).

Enquanto no modelo tradicional a produção é vista simplesmente como atividade de mera transformação, os conceitos da filosofia *Lean Construction* ou Manufatura Enxuta entendem a produção como um fluxo de atividades de transformação e, não apenas produção fracionada em subprocessos.

Segundo Bajjou & Chafi, (2020), é necessário haver uma abordagem concentrada na gestão integrada entre atividades de conversão e fluxo, processo que visa a eliminação de desperdícios e a maximização do valor entregue ao cliente.

A Figura 4 ilustra a visão tradicional do processo produtivo que consiste em atividades de conversão da matéria prima (*inputs*) em produtos (*outputs*).

Figura 4 - Modelo de conversão



Fonte: adaptado de Koskela (2000)

A gestão convencional foca intensamente na otimização de subprocessos individuais (conversão), ignorando as interdependências. No entanto, a verdadeira eficiência na construção

civil provém da otimização do fluxo, onde a redução de desperdícios em mão-de-obra e movimentação de materiais é crítica.

O *Lean Construction* (Lean Institute Brasil, 2024-2025) frisa que o foco excessivo no valor de um subprocesso isolado, ignorando o fluxo global, gera estoques excessivos e interrupções na obra, comprometendo a produtividade. Estudos indicam que a melhoria contínua (*Lean*) não deve apenas focar em produzir mais, mas sim em reduzir a variabilidade e aumentar a transparência dos fluxos físicos entre atividades (CBIC/FGV, 2024-2025).

2.4 Sistema Toyota de Produção

O Sistema Toyota de Produção, conhecido como (TPS) *Toyota Production System*, assenta sobre uma filosofia baseada na eliminação de desperdícios (*MUDA* em japonês), na melhoria contínua (*Kaizen*), na adoção da ferramenta da qualidade PDCA, sigla para *Plan-Do-Check-Act* e na criação de valor. Tem como base dois pilares fundamentais: o JIT *Just in Time* e o Jidoka, pilares estes, que asseguram a cada etapa do processo a realização na quantidade e no momento exato, com controle automático de qualidade e autonomia, permitindo aos trabalhadores interromperem a produção em caso de anomalias (MOURÃO, 2025).

O Sistema Toyota de Produção, evoluiu ao longo de muitos anos num processo de tentativa e erro, para melhorar a eficiência, com base nos conceitos *Just-in-time* e Jidoka desenvolvidos para garantir a produção eficiente com a melhor qualidade e menor custo

Sakichi Toyoda, desenvolvedor do Tear Automático, não apenas automatizou o trabalho que outrora era manual, mas também incorporou ao processo a capacidade de parada automática (*Jidoka*) face à detecção de anomalias. Esse mecanismo eliminou a produção de itens defeituosos e as práticas desperdiçadoras associadas. Com essa inovação Sakichi aumentou rapidamente a produtividade e a eficiência operacional.

Kiichiro Toyoda, herdeiro dessa filosofia, propôs-se a realizar a convicção de que as condições ideais para a manufatura são criadas quando máquinas, instalações e pessoas trabalham em conjunto para adicionar valor sem gerar desperdícios. Essa abordagem permitiu a concepção de metodologias e técnicas inibidoras de desperdícios entre operações e processos, culminando no método *Just-in-Time*.

O TPS não é um sistema estático, mas uma cultura de melhoria contínua, onde cada funcionário é incentivado a buscar a qualidade no trabalho e a constante eliminação de desperdícios. O Sistema Toyota de Produção evoluiu para um sistema de produção reconhecido

mundialmente. Ainda hoje a mensagem da estratégia Kaizen é que não deve passar um dia sem que algum tipo de melhoria seja feito em algum lugar da empresa (MASAAKI IMAI, 2018)

O espírito *Monozukuri*, “fazer coisas” na Toyota evoluiu para o *Toyota Way*, uma abordagem de gestão que une habilidades humanas, tecnologia e melhoria contínua para criar produtos de alta qualidade (Princípio Toyota/Akio Toyoda (2023).

O pilar Jidoka garante qualidade na fonte, parando a linha de produção imediatamente ao detectar qualquer anomalia para evitar produtos defeituosos. Jidoka é uma maneira de detectar problemas e tomar medidas rápidas para corrigir falhas em qualquer estágio do processo produtivo disponibilizando funcionários para outras tarefas (Lean.org.br, 2024)

O Just-in-Time, idealizado por Kiichiro Toyoda, baseia-se em produzir exatamente o que é necessário, na quantidade certa e no momento certo, fluxo contínuo, isto é produzir apenas o que é necessário, quando é necessário e na quantidade necessária, a cada etapa da produção (Toyota Motor Corporation 2024)

Com base na filosofia básica de *Jidoka* e *Just-In-Time*, o TPS pode produzir de forma eficiente e rápida veículos de alta qualidade, um de cada vez, atendendo plenamente aos requisitos do cliente. O TPS e sua abordagem de redução de custos, são as bases da força competitiva e vantagens para a Toyota. Aperfeiçoar essas habilidades é essencial e a empresa usa essas estratégias para desenvolver seus recursos humanos e fabricar carros cada vez melhores, mais aceites e apreciados por seus clientes. Numa reinterpretação do TPS, Liker e Leanscape (2026), citam que “sem o pilar de respeito pelas pessoas, a melhoria contínua (Kaizen) é insustentável. O respeito significa ouvir os trabalhadores da linha de frente”

2.5 Lean Manufacturing

Originado no período pós-guerra como o Sistema Toyota de Produção (TPS), o *Lean Manufacturing* (ou Manufatura Enxuta) consolidou-se sob a liderança técnica de Taiichi Ohno como uma filosofia de gestão focada na eliminação radical de desperdícios e na maximização do valor para o cliente. Inicialmente desenhado para garantir a competitividade da Toyota contra as gigantes automotivas ocidentais, o sistema revolucionou a eficiência industrial.

A popularização global do conceito deve-se a James P. Womack e Daniel T. Jones (2004), cujas obras seminais, como “A Mentalidade Enxuta nas Empresas”, definiram os princípios *Lean* que balizam a gestão até hoje.

Décadas após sua criação, a metodologia Lean provou sua resiliência e adaptabilidade. Atualmente, o conceito evoluiu para *Lean Enterprise* ou Gestão Lean,

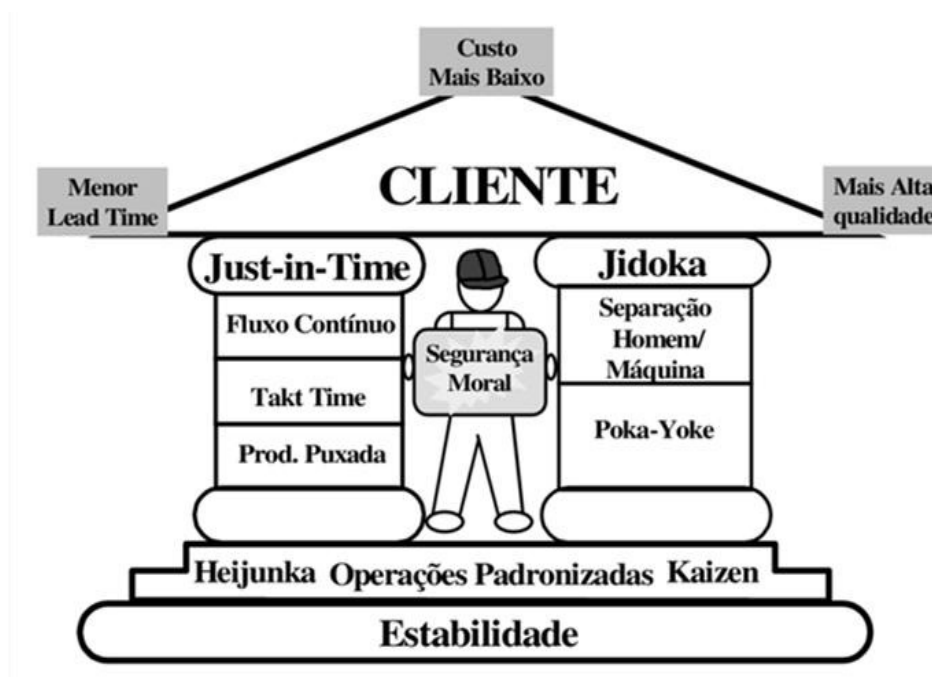
extrapolando as linhas de produção automotivas para abranger diversos setores, incluindo saúde (*Lean Healthcare*), serviços, startups, construção civil e educação.

Autores e pesquisadores recentes destacam que o Lean não é apenas um conjunto de ferramentas, mas uma cultura de melhoria contínua (*Kaizen*) e respeito pelas pessoas. No presente, o Lean continua a ser uma ferramenta estratégica crucial, agilizando ciclos de atividades, reduzindo estoques e desperdícios, e aumentando a competitividade, sendo frequentemente integrado à indústria 4.0 (Lean 4.0) para impulsionar a digitalização com eficiência operacional.

2.6 Pilares do Lean Production

Um dos principais objetivos do Sistema Toyota de Produção (STP), é a moderação de custos pela diminuição ou eliminação sistemática de desperdícios (*muda*), buscando a eficiência operacional. Liker (2021) reafirma que o STP não é apenas um “kit de ferramentas”, mas um sistema sofisticado de produção em que as partes contribuem para o todo, sustentado por uma cultura de melhoria contínua e respeito pelas pessoas. Esse sistema apoia-se em dois principais pilares que servem de base a um conjunto de ferramentas necessárias ao alcance dos objetivos (*Kaizen* e Respeito pelas Pessoas). O foco, em sua essência, é capacitar e estimular as pessoas para que continuamente melhorem os processos em que trabalham. A Figura 5, ilustra os dois importantes pilares, como base do STP.

Figura 5 – Toyota Production System



Fonte: Adaptado de Liker (2021)

O modelo, resume o âmago do Sistema Toyota de Produção (STP). O cliente e os dois pilares fundamentais - *Just-in-time* e *Jidoka* – constituem as bases sólidas para garantir a entrega do produto, com a mais alta qualidade, ao mais baixo custo e no menor prazo possível (Toyota, 2025).

O *Just-in time* (JIT) representa um conjunto de princípios, ferramentas e técnicas que permitem a uma empresa produzir e entregar produtos apenas na quantidade necessária e no momento exato em que são solicitados, atendendo às necessidades específicas do cliente. Conforme enfatizado por Ohno (1997), em um processo de fluxo contínuo, as partes corretas e necessárias à montagem alcançam a linha no momento certo, reduzindo drasticamente o *Lead Time*.

O *Jidoka*, frequentemente definido como “automação com toque humano” ou “autonomação”, consiste em conferir autonomia à máquina ou ao operador para interromper o processamento imediatamente após a detecção de qualquer anomalia. Ao contrário da automação tradicional, que foca apenas em velocidade, o *Jidoka* garante que a máquina pare sozinha em situações irregulares, exigindo a atenção humana apenas para a resolução do problema.

Essa abordagem permite que um único operador supervisione múltiplas máquinas, flexibilizando a mão de obra nas células de trabalho (*Shojinka*) e tornando possível a redução do quadro funcional (*Shoninka*), melhorando a qualidade e reduzindo a produção de defeitos. Consequentemente, aumenta-se a eficiência produtiva, focando na qualidade desde a origem, pois qualquer desvio é corrigido no momento e local em que ocorre, preservando a excelência do produto final (Romero *et al.*, 2019; Vasisht, 2020).

2.7 Princípios do Lean Production

A filosofia *Lean Production* (Produção Enxuta), consolidada no ocidente através do *International Motor Vehicle Program* (IMVP), teve seus fundamentos conceituais associados ao pesquisador Jonh Krafcik e, posteriormente, popularizados por Womack e Jones. A designação “Lean” (magra, enxuta) segundo Toyota Forklift (2021), refere-se à eliminação sistemática de desperdícios (ou *muda*, no japonês original). Objetivo é fazer mais com menos: menos esforço humano, menos espaço fabril, menos investimento em ferramentas e menos horas de engenharia no desenvolvimento de produtos, resultando em metade do tempo de *lead time* em comparação à produção em massa.

O sistema também visa a redução drástica dos estoques no local de fabricação, resultando em uma diminuição significativa de defeitos e permitindo, simultaneamente, um aumento na variedade de produtos.

Após a Segunda Guerra Mundial, o Sistema Toyota de Produção (TPS) começou a evoluir sob a influência de Taiichi Ohno, com uma estratégia de sobrevivência no cenário de devastação econômica japonês. A necessidade de produzir com recursos limitados forçou a Toyota a focar na eliminação rigorosa de perdas.

Estudos sobre as ideias de Frederick Taylor (Taylorismo) e Frank e Lillian Gillbreth (tempos e movimentos) foram incorporados e adaptados à realidade da Toyota, originando a lógica das 7 perdas clássicas (desperdícios).

1. Superprodução.
2. Espera.
3. Transporte;
4. Processamento.
5. Estoque.
6. Movimentação.
7. Defeitos.

Posteriormente, a literatura especializada passou a incluir um oitavo desperdício: a subutilização do talento humano. A redução ou eliminação desses desperdícios tornou-se a base do TPS e, posteriormente, consolidou-se no Ocidente como *Lean Manufacturing* (WATANABE, 2010).

2.8 Lean Thinking

O conceito Lean Thinking (Pensamento. Enxuto), originado no Sistema Toyota de Produção (STP), consolidou-se com uma filosofia de gestão focada na eliminação de desperdícios e na maximização de valor para o cliente, superando o ambiente de fabricação para alcançar diversos setores de serviços e tecnologia. Mais do que a manufatura enxuta original, o pensamento atual define o *Lean* como um “novo paradigma de produção” que contrasta com os modelos convencionais – produção artesanal e produção em massa – ao focar intensamente na redução de estoques, defeitos e tempos de espera, conforme discutido por Womack e Jones (2020) em celebração aos 30 anos da obra que fundamentou o conceito.

Estudos recentes reforçam que o Lean Thinking evoluiu de um conjunto de ferramentas (como 5S e Kanban) para uma filosofia de gerencial estratégica, unindo estratégia,

cultura e execução no chão de fábrica no *BackOffice*. A base do sistema permanece a erradicação dos 7 desperdícios clássicos (TIMWOOD) – focando em eficiência – mas evolui ao incorporar a transformação digital e o 8º desperdício (intelectual) para maximizar o valor ao cliente (LINE INSTITUTE BRASIL, 2023)

O pensamento enxuto (*Lean Thinking*), estruturado por Womack e Jones (1996), é fundamentado em cinco princípios essenciais voltados para a eliminação de desperdícios e criação de valor:

1. **Determinar o Valor:** Define o que é valor sob a ótica do cliente para um produto específico.
2. **Identificar o Fluxo de Valor:** Analisar todas as etapas do processo para eliminar atividades que não agregam valor.
3. **Fluxo. Contínuo:** Fazer o valor fluir sem interrupções, esperas ou retrabalhos.
4. **Produção Puxada:** Permitir que o cliente puxe o produto, produzindo apenas o necessário.
5. **Perfeição:** Buscar continuamente a excelência através da melhoria continua dos processos.

Conforme Picchi (2003), esses princípios são amplamente aplicáveis a diversos setores, visando a eficiência máxima operacional;

A Figura 6 representa os cinco princípios fundamentais do Pensamento Enxuto, amplamente aplicados para otimizar processos em diversos setores, consolidando a base estrutural do *Lean*. São eles: Valor, Fluxo de Valor, Fluxo Contínuo, Produção Puxada e Perfeição (Womack & Jones 1996).

Figura 6 - Princípios Lean Thinking



Fonte: Adaptado de Voitto, (2019)

1. O Valor (Definição de Valor)

O valor é definido exclusivamente pela perspectiva do cliente final, representando tudo aquilo pelo qual ele está disposto a pagar. Expressar o valor em termos de produtos ou serviços específicos, entregues no momento correto, é o ponto de partida crítico para qualquer iniciativa Lean, evitando o desperdício de produzir algo que o cliente não valoriza (Businessmap, 2024)

2. Fluxo de Valor (Mapeamento do Fluxo)

O fluxo de valor engloba todas as ações essenciais – desde a matéria-prima até a entrega final – para levar um produto ou serviço ao cliente. Essa técnica visual, o Mapeamento do Fluxo de Valor (VSM), identifica os desperdícios gerados nas três tarefas gerenciais críticas: resolução de problemas, gestão da informação e transformação física (LBS Partners, 2020).

3. Fluxo Contínuo

Para implementar o fluxo contínuo, é fundamental alinhar as atividades que agregam valor, eliminando desperdícios que causam interrupções (bottlenecks). O mapeamento do fluxo de valor permite visualizar e remover etapas que consomem recursos sem gerar benefícios ao cliente final. Essa abordagem exige uma mudança cultural profunda em direção ao pensamento enxuto (Sesa Systems, 2026).

4. Produção Puxada

A produção puxada representa a essência do “Just-in-Time” (JIT), onde o sistema só fabrica o que é solicitado pelo cliente, na quantidade e tempo precisos. Esta técnica anula a necessidade de previsões de vendas imprecisas e empurra a produção com base no consumo real, eliminando estoques desnecessários e reduzindo custos de armazenagem (Linkedlin, 2024).

5. Perfeição (Melhoria Contínua)

A busca pela perfeição é o princípio que sustenta a melhoria contínua (*Kaizen*), indicando que os processos devem ser constantemente revistos para eliminar desperdícios ocultos. Não se trata de uma meta final, mas de um ciclo infinito de “Plan-Do-Check-Act” (planejar-fazer-verificar-agir), visando a eficiência máxima (Flowdit, 2026).

2.9 Lean Construction

A Construção Enxuta pode ser entendida como um sistema de otimização de processos uma vez que viabiliza a obra sem prejudicar sua qualidade, desempenho físico e conforto.

Este conceito, que vai além da temática de quantitativos de materiais, é antes de mais, uma filosofia parametrizada para análise de redução de custos, além de proporcionar uma produção com segurança. Conforme Willich, (2023), este conceito, voltada à construção civil,

se dá na redução de tempo e serviços, mapeamento de processos produtivos, manutenção de um prazo rigoroso para a execução de uma obra, entre outros.

De acordo com Medeiros (2022), a análise desta metodologia é voltada para uma abordagem focada na eficiência produtiva e numa redução drástica de desperdícios, concentra-se essencialmente numa filosofia aplicada à construção civil a qual busca a otimização de processos para a máxima redução da geração de resíduos.

Assim, o *Lean Construction*, ou Construção Enxuta, é essencialmente uma metodologia de planejamento, controle e otimização do processo de construção civil sem comprometimento da qualidade. Segundo Sterzi (2022), é uma metodologia derivada da filosofia *Lean Production*, a qual, por sua vez, é derivada da filosofia original, a *Lean Manufacturing*, a qual foi desenvolvida e aprimorada pela Toyota na década de 1950 e denominada, Sistema Toyota de Produção (STP).

Na presença do sucesso deste sistema, profissionais de outras áreas do conhecimento interessaram-se pela filosofia *Lean Production*, nomeadamente profissionais da construção civil. Em 1992, Lauri Koskela realizou a publicação de seu trabalho, intitulado: “Aplicação da Nova Filosofia de Produção à Construção”, esta considerada como ponto de partida da *Lean Construction* (RODRIGUES; CONFORTE, 2024).

Segundo Alawag et al., (2024), a perspectiva de fluxo apresentada por Koskela (1992) destaca a necessidade de monitorar e otimizar todas as etapas do processo produtivo, do início ao fim, visando a redução ou eliminação de atividades que não agregam valor e o aumento da eficiência nas atividades de conversão que geram valor final ao produto.

Proposto por Lauri Koskela em 1992, o modelo de *Lean Construction* (LC) reconfigurou a gestão da execução de obras, evoluindo do modelo tradicional de conversão para uma abordagem focada em fluxo e geração de valor. A filosofia *Lean Construction*, fundamentada nos princípios da produção enxuta, visa otimizar processos no canteiro de obras, reduzindo custos, desperdícios e melhorando a sustentabilidade e a produtividade. (STECLA, 2024).

Koskela estabeleceu 11 princípios fundamentais que se tornaram a base da gestão enxuta na construção:

1. Atividades que agregam valor; segundo Koskela (1992); apud de Sousa, (2013), são aquelas que transformam materiais ferramentas e informações em produtos solicitados pelos clientes, enquanto, as atividades que não agregam valor produzem um acúmulo de desperdício e operações que utilizam tempo, recursos e espaço, desnecessariamente.

2. O aumento ou redução do valor da produção; tem como principal objetivo atender às necessidades observadas pelo cliente, e o aumento deste valor só é obtido pela total garantia da satisfação do cliente. Contudo, para Souza et al. (2024) apesar de ser uma prática simples muitos dos casos aplicados na construção convencional acabam desprezando suas necessidades.

3. A diminuição da variabilidade; segundo Abbas et al., (2020) baseia-se na exclusão de atividades que provocam alterações no objetivo principal, ou seja, relações com o processo de produção. Seguindo essa variabilidade, podem apresentar algumas relações com o tempo de duração de determinada atividade ou dimensionamento do produto.

4 A redução do tempo de ciclo; Segundo Toledo (2020), é um princípio baseado na metodologia Just-in-Time e inclui os processos de transporte, espera, processamento e inspeção até à obtenção do produto final, logo, a adoção da metodologia Just in Time, é pertinente quanto à gestão do tempo de obra, alterações e imprevistos.

5. A simplificação reduzindo o número de etapas; passos, quantidades, variabilidade, etc, são conceitos importantes na metodologia Lean, funciona como um promotor da redução de desperdícios e aumento de atividades que agregam valor (LUNARDELLI, 2023).

6. O aumento da flexibilidade; de acordo com Toledo, (2020), concentra-se na ideia de que, mudanças nos produtos finais, sejam de acordo com as necessidades do cliente, sem que haja qualquer aumento do custo.

7. O aumento da transparência dos processos; é um dos pilares fundamentais da produção, pois ela permite a visibilidade imediata dos problemas no ambiente produtivo, facilita o controle e estimula a melhoria dos processos. Este princípio é viabilizado por dispositivos e indicadores que possibilitam a propagação das informações no ambiente de trabalho (ANDRADE E SOUZA, 2019).

8. O controle total sobre o processo; Segundo Teixeira, (2018) envolve uma gestão fundamentada na supervisão completa do processo de produção, desta forma, haverá condições, para implementar correções e medidas atempadas, para evitar impactos negativos nos prazos de entrega.

9. Para garantir a melhoria contínua, a redução de desperdícios e o aumento constante do valor agregado, Koskela (1992) destaca a necessidade de avaliar os avanços e estabelecer objetivos desafiadores. Isso envolve mobilizar os funcionários para aplicar as melhores práticas, com foco na eliminação das causas raízes dos problemas, em vez de apenas tratar os efeitos (RIBEIRO et al., 2020).

10. O equilíbrio da melhoria do fluxo com as atividades; Para Teixeira (2021) depende de uma gestão de produção eficiente que procure obter o equilíbrio da melhoria no fluxo

(atividades que não alteram o produto) com atividades relacionadas à conversão (interferem no produto). A melhoria do processo passa pela sensibilidade para detectar e atuar no ponto de convergência destas atividades, ou seja, onde existem pontos em comum.

11. O Benchmarking para Stecla (2024), pode ser definido como “um processo contínuo e sistemático para avaliar produtos e processos de trabalho de organizações que são conhecidas como representantes das melhores práticas, com a finalidade de melhoria organizacional. Para Lombardi, (2014) o Benchmarking é um processo em que a empresa busca entender e adotar práticas eficientes observadas por outras organizações, reconhecidas como referência, em outros setores. Segundo Carvalho, (2008), o Benchmarking tem como objetivo fornecer uma referência motivacional para traçar metas, melhorar a competitividade e crescimento da organização.

Por isso precisa ser mantido como processo gerencial permanente, com atualização constante da coleta e análise cuidadosa do que há de melhor no mercado. Desta maneira, o benchmarking permite que as empresas comparem seus produtos, métodos e serviços, com os das organizações representantes das melhores práticas. Neste contexto, os onze princípios propostos por Koskela (1992) incentivam a busca constante da qualidade, fundamentada na redução da variabilidade. Como exemplo, a gestão baseada no valor acrescenta, objetivamente, mais-valias à produção, enquanto a gestão baseada no tempo objetiva a redução do ciclo. Estes princípios, segundo o autor, estão intimamente relacionados, embora em níveis de abstração diferentes: uns são mais fundamentais, outros mais orientados para a aplicação. Willich (2023) detalha, por meio de uma tabela, as principais diferenças entre o sistema tradicional e o *lean construction*.

Tabela 1– Sistema. Convencional (versus) Conceitos Lean

PRINCIPIOS	CONSTRUÇÃO TRADICIONAL	LEAN CONSTRUCTION
Desperdício e eficiência	Mais propensa aos desperdícios devido à falta de coordenação e adaptabilidade, por excesso ou falta de estoque	Identifica e enfatiza os desperdícios em todas as fases do projeto, garantindo uma melhor redução de custos, quantificação de materiais e mão de obra eficiente
Projeto centrado no cliente	Sempre voltado a atender às especificações e normas do projeto sem interferências ou foco explícito no cliente	As necessidades do cliente são a parte mais importante do processo e priorizando sempre um valor bom para o cliente sem interferir no crescimento da empresa.
Planejamento e programação	A maioria dos atrasos acontecem por falta de adaptação à programação rígida da proposta.	Planejamento e programação tendem a ser flexíveis, garantindo um menor prazo de conclusão das etapas.
Qualidade e melhoria continua	Menos foco nas melhorias dos processos e menos ênfase nas revisões constantes	Centralização por busca por melhorias e revitalização dos processos, sempre buscando melhorar e aprimorar.
Flexibilidade e adaptação	Menos flexível para acomodar as adaptações no projeto sem impactos significativos no cronograma e custos	Adaptável nas mudanças do projeto e busca sempre atender as necessidades do cliente.

Fonte: WILLICH, (2023)

2.10 Lean Construction e Linha de Balanço

Métodos tradicionais de planejamento baseados em redes, como PERT/CPM (*Program Evaluation and Review Technical / Critical Path Method*), têm sido amplamente utilizados desde a década de 1950. No entanto, estudos indicam limitações significativas dessas ferramentas quando aplicadas a obras de natureza repetitiva, falhando em otimizar o fluxo de produção, conforme apontado por Mattos (2010). Em contrapartida, métodos de planejamento linear baseados na localização, conhecidos como Linha de Balanço demonstram maior eficácia no gerenciamento de atividades cíclicas (Arditi, Tokedemir & Such, 2002; Lucko, Alves &

Angelin, 2013). Embora evidências de seu uso remontem à década de 1950, o planejamento linear evoluiu a partir da década de 1970, consolidando-se como uma abordagem superior para produções repetitivas (Pacheco & Heineck, 2008).

No contexto atual, a Linha de Balanço destaca-se como técnica eficaz de programação, e controle, ideal para obras com pacotes de atividades cíclicas (Tommelein & Ballard, 1997; Mendes Jr. & Heineck, 1999). Diferente da produção em massa tradicional, a filosofia *Lean Construction* (Construção Enxuta) emergiu, adaptada do *Lean Production* por Womack e Jones (1992) e introduzida no setor por Formoso (2002), propondo uma nova gestão baseada na redução de desperdícios e maximização de valor (IPOG, 2019; Produtivo, 2023)

Heineck et al. (2009) observaram a existência de uma forte reciprocidade entre a Construção Enxuta e a Linha de Balanço, propondo uma sistemática baseada em três princípios fundamentais:

- **Ciclo:** Foco na repetição e padronização das atividades (Linha de Balanço, 2023)
- **Fluxo:** Alinhado à visão de Koskela (2000) e Womack (2004), buscando a continuidade operacional (Sienge, 2025).
- **Coordenação:** Integração entre programação, direção e controle (Péricas, 2023).

Segundo Amaral; Heineck; Roman (2009) e corroborado por Senior, (2025), a *Lean Construction* e a Linha de Balanço convergem ao simplificar operações, reduzir a variabilidade e diminuir o *lead time* através do balanceamento de equipes e do efeito aprendizagem.

Estudos recentes reafirmam que a Linha de Balanço atua como potencializadora dos princípios Lean, permitindo uma visualização transparente do fluxo no tempo e no espaço (Péricas, 2023; Revista FT, 2023).

2.11 Introdução e Princípios da Linha de Balanço.

A Linha de Balanço (LOB – *Line of Balance*) consolida-se como uma técnica de Planejamento e Controle da Produção (PCP) voltada para empreendimentos de caráter repetitivo, tais como edificações verticais, habitações em série, infraestrutura linear. Originada na década de 1940 pela *Goodyear Tire & Rubber Company* e amplamente adotada pela Marinha Americana, a técnica foi posteriormente transposta para a construção civil, consolidando-se no Brasil nas décadas de 70 e 80 como uma alternativa superior aos métodos tradicionais de rede (CPM/PERT) (FERREIRA, 2011).

Fundamentada nos princípios da Construção Enxuta (*Lean Construction*), a LOB concentra-se na produção em fluxo contínuo, minimizando estoques de serviço (trabalho em

processo) e estabilizando o ritmo das equipes. Graficamente, a ferramenta é representada em um sistema cartesiano, onde o eixo vertical (Y) representa a unidade física/local (ex: pavimento) e o eixo horizontal (X) o tempo. A inclinação das linhas indica a velocidade de produção: uma inclinação maior representa maior rapidez, enquanto um alinhamento horizontal indica inatividade.

A modelagem pode ser estruturada utilizando ritmo de *Takt* (programação paralela), visando uniformidade na conclusão, ou ritmos naturais, permitindo balanceamento parcial. A LOB diferencia-se do cronograma de Gantt por visualizar o fluxo espacial, evitando que as linhas de produção se cruzem, o que geraria conflitos espaciais no canteiro. Estudos recentes destacam a integridade da LOB com ferramentas \$D/%D BIM, aprimorando a visualização e atualização dos cronogramas em tempo real. Apesar da sua potência, a eficácia da LOB depende de atividades bem definidas e monitoramento contínuo do ritmo real contra o planejado, atenuando a variabilidade inerente à construção civil.

2.12 Evolução da Linha de Balanço.

A Linha de Balanço evolui de um monitoramento de ritmo para um sistema de gestão de produção baseada no fluxo contínuo de equipes, lotes de repetição e ritmo de trabalho, sendo pilar da Construção Enxuta (*Lean Construction*) para redução de ociosidade (Siengen, 2020-2025). Diferente do Gráfico de Gantt, que incide na sequência cronológica (atividades x tempo), a LOB balança a taxa de produção das equipes com o tempo de conclusão em cada unidade física.

A LOB saiu de uma técnica criada na década de 1940, e hoje representa uma adaptação essencial ao planejamento tradicional para obras repetitivas. Inicialmente, o planejamento de obras se apoiava fortemente em cronogramas de barras simples (Gantt), que listam atividades e durações, mas falham em mostrar a continuidade espacial e o ritmo de produção. Sua principal adaptação, da simplicidade ao fluxo contínuo, fundamentou-se, essencialmente, na substituição das barras horizontais fixas (Gantt), pelas linhas inclinadas (LOB). Enquanto o gráfico de barras simples mostra apenas quando uma tarefa começa e termina, o gráfico inclinado da Linha de Balanço utiliza eixos compostos.

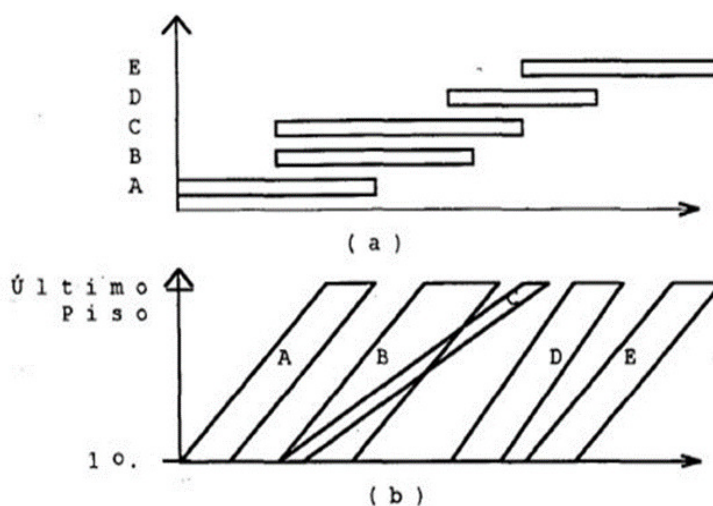
Algumas dessas informações que o gráfico da LOB permite visualizar são:

1. **Ritmo:** Pela inclinação da linha – linhas mais verticais indicam maior velocidade e mais horizontais, menor velocidade. (Revista FT, 2023).
2. **Estoques de Serviço:** Diferença de ritmo entre equipes consecutivas.

A Figura 7 ilustra a evolução entre os métodos:

- **(a) Diagrama de Gantt:** Foca na duração individual e sequência lógica (Atividade x Tempo).
- **(b) Linha de Balanço:** Foca no fluxo (Unidades locais x Tempo), onde a inclinação das linhas de produção, que conectam os locais de execução, permite a visualização instantânea do ritmo e da continuidade das equipes.

Figura 7-Diagrama de Gantt / Linha de Balanço



Fonte: Mendes, Jr. (1999)

2.13 Linha de Balanço (LOB)

A metodologia da Linha de Balanço expandiu-se para além da manufatura, consolidando-se como ferramenta superior ao Planejamento e Controle da Produção (PCP) tradicional em obras de grande repetitividade, empreendimentos verticais e conjuntos habitacionais (REVISTA TÉCNICA SENIOR, 2023).

Diferente dos diagramas de rede (PERT/CPM), frequentemente associados a baixa produtividade e dificuldade de controle em ciclos repetitivos em oposição à variabilidade, a LOB concentra-se na estabilidade do fluxo, nivelamento de recursos e na constante evolução das equipes, reduzindo paralisações e evitando gargalos.

Impulsionada pela construção enxuta (*Lean Construction*), a Linha de Balanço maximiza resultados ao integrar a visualização do ritmo de produção com novas tecnologias (Losekann, 2023). Essa técnica de associação de tempo e espaço, otimiza recursos e reduz desperdícios e, por conseguinte, configura-se como metodologia de vanguarda no planejamento

moderno (Kozarda, 2024). Como exemplificação das vantagens da Linha de Balanço, as Figuras 8 e 9 exemplificam essas nuances:

- **Figura 8:** Representação gráfica simplificada da essência do modelo da Linha de Balanço (Mattos, 2010).
- **Figura 9:** Redesenho das atividades repetitivas da Figura 8, agrupadas em tópicos distintos e evidenciando o ritmo de produção (Mattos, 2010)

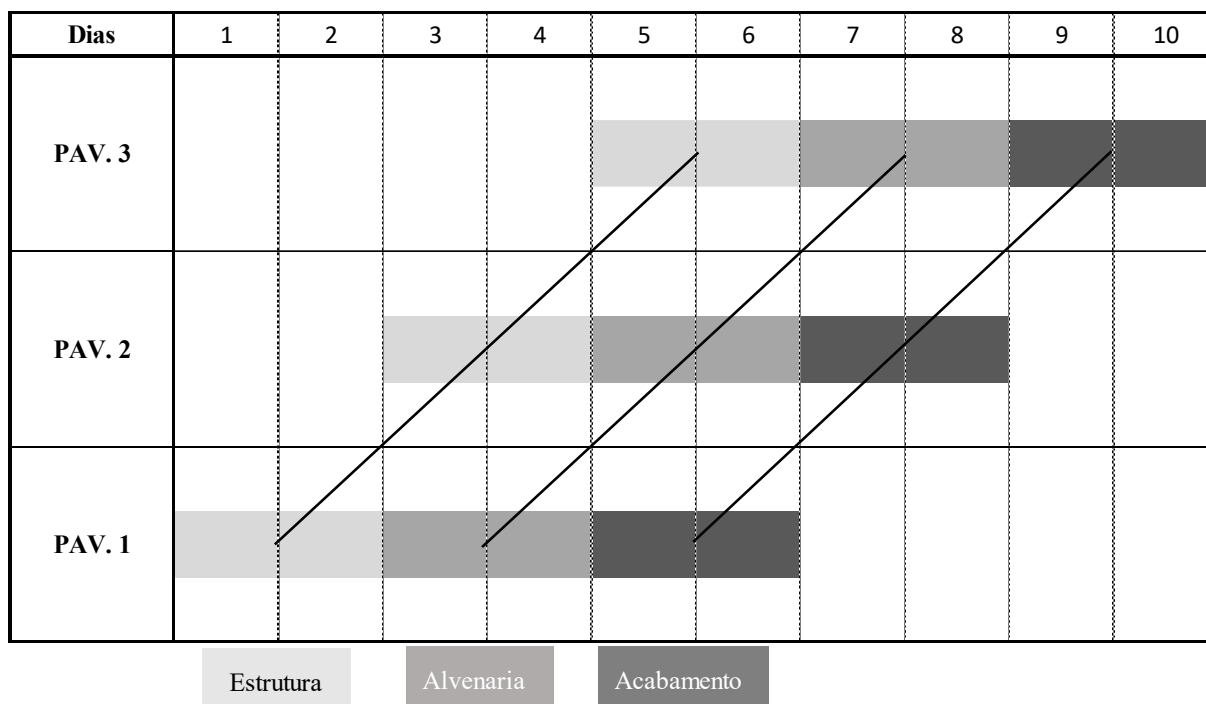
A Figura 9 condensa alto volume de informações operacionais em um documento visualmente intuitivo, onde a inclinação da reta demonstra o ritmo da atividade, permitindo o balanceamento imediato entre a produtividade da equipe e o ritmo planejado (Mattos 2010).

Figura 8– Diagrama da Linha de Balanço

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ESTRUTURA										
PAV. 1										
PAV. 2										
PAV. 3										
ALVENARIA										
PAV. 1										
PAV. 2										
PAV. 3										
ACABAMENTO										
PAV. 1										
PAV. 2										
PAV. 3										

Fonte: Mattos (2010)

Figura 9 – Diagrama de barras / rearranjo das tarefas.



Fonte: Mattos 2010

A Linha de Balanço como metodologia de planejamento e controle da Produção permite uma excelente visualização dos fluxos de trabalho, simplifica as tomadas de decisão e garante as melhores opções de balanceamento de atividades, equipamentos e recursos humanos. Permite a obtenção de cronograma garantidor do controle de produtividade e pontualidade na entrega.

2.13.1 Técnica da Linha de Balanço

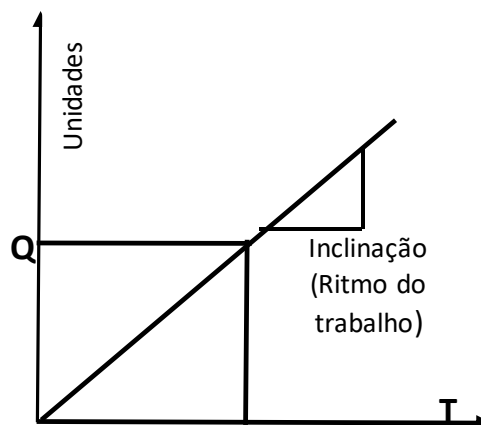
Em sua essência a técnica da Linha de Balanço (LOB) é largamente reconhecida como uma ferramenta de gestão visual que, ao integrar tempo e locais de produção, garante o ritmo das equipes, evitando ociosidade e desperdícios tanto no canteiro como em obra (SEENGE 2025). Fundamentado no pressuposto de linearidade das atividades, a técnica da LOB caracteriza-se como modelo gráfico que mapeia o progresso físico em função do tempo e local.

Conforme abordado na literatura, para CrewCost (2024), essa ferramenta permite otimizar o uso da mão-de-obra e materiais, garantindo a continuidade das equipes em diferentes frentes de serviço.

A Figura 10 exemplifica o conceito da LOB para um determinado processo e é considerada um diagrama tempo-espço para todo esse processo. Em determinado instante “T”,

haverá uma quantidade “Q” de unidades concluídas. O ritmo de produção, para cada um dos processos repetitivos em termos de unidades por tempo e a duração de cada atividade, são fornecidos pela inclinação das retas, assim como a duração total do projeto (BUILDINGS, 2020).

Fig. 10 – Linha de balanço (conceitual)



Fonte: Adaptado de Mendes (1999)

No gráfico da Linha de Balanço, as linhas indicam a execução de uma determinada tarefa em qualquer das diferentes localizações do empreendimento, representando as várias equipes percorrendo uma sequência de produtos fixos (BULHÕES; FORMOSO; AVELLAN, 2003).

A reconhecida metodologia LOB é essencial para o planejamento de atividades repetitivas, onde linhas inclinadas representam o fluxo das equipes de trabalho através de diferentes localizações (ex: pavimentos ou blocos) ao longo do tempo (SIENGE, 2025). Segundo abordagens contemporâneas, a metodologia objetiva o balanceamento dos ritmos de produção para garantir a sequência ordenada e contínua das atividades, evitando ociosidade e picos desnecessários de mão-de-obra (SENIOR, 2025).

Esta ferramenta viabiliza a simulação de diferentes estratégias de obra, permitindo o ajuste preciso da velocidade de execução (inclinação das linhas) e solucionando conflitos de precedência entre equipes (SENIOR, 2025).

Um benefício central da LOB é sua grande capacidade visual, traduzindo ritmos e durações em gráficos intuitivos, superiores ao Diagrama de Gantt para obras repetitivas, pois facilitam a detecção rápida de gargalos de produção (SCRIBD, 2023).

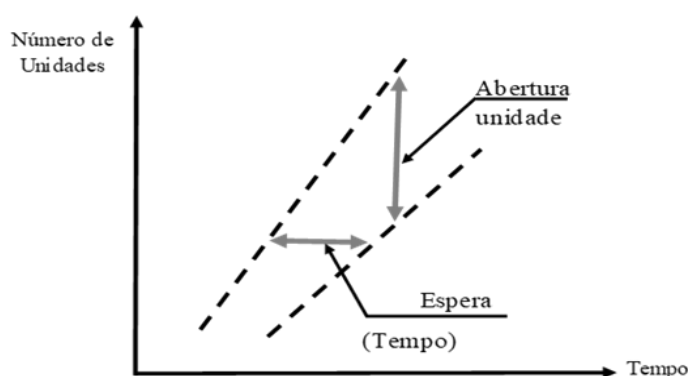
2.13.2 (LOB) Processos. Consecutivos

A Figura 11, ilustra um exemplo da curva da LOB para dois processos consecutivos, onde a distância horizontal entre as duas retas exemplifica um espaço de tempo (*time buffer* ou *lag*) entre atividades, essencial para evitar que uma equipe interrompa a outra.

Entretanto, a literatura destaca também o ritmo e inclinação (*Stage Buffer*) sendo que a inclinação da linha no gráfico representa o ritmo de produção (unidades por tempo). Segundo Antac (2022), uma inclinação vertical diferente indica ritmos de progressão diferentes, o que gera a necessidade de “buffers de estágio” (*stage buffers*) ou filas de unidades para garantir que equipes mais rápidas não alcancem as mais lentas.

Conforme Kenley e Seppanen (2010), a Linha de Balanço, por ser uma ferramenta visual superior ao Gráfico de Gantt em obras repetitivas, permite a detecção e pré-visualização de gargalos, conflitos de espaço e ineficiência de equipes através da análise gráfica do ritmo de trabalho.

Figura 11 – Curva de produção, processos consecutivos



Fonte: Adaptado de Mendes (1999)

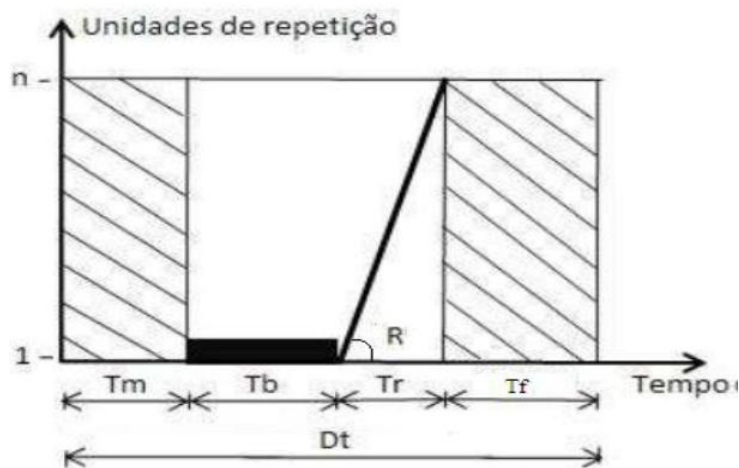
A programação de obras baseada na Linha de Balanço é uma metodologia de planejamento e controle voltada para atividades cíclicas, que responde aos principais questionamentos do gerenciamento de projetos, tais como:

- Quem? – Define a equipe de trabalho responsável pela execução;
- O que? – Identifica a atividade específica representada no gráfico;
- Quando? – Determina o tempo (T) no eixo horizontal;
- Onde? – Especifica a unidade ou setor (Q) no eixo vertical;

Além disso, Alves de Oliveira (2025), destaca a importância de compreender os conceitos básicos e as variáveis que sustentam a ferramenta. A representação gráfica, ilustrada na Figura 13, demonstra o ritmo de produção, sendo fundamental a distinção entre as equações

empregadas para o cálculo do ritmo de produção (Equação 1) e para a duração total do projeto (Equação 2). A técnica permite a análise visual de execução pela inclinação das linhas e facilita o balanceamento de recursos, minimizando tempos ociosos e gargalos na produção.

Figura 12 – Conceitos e variáveis da Linha de Balanço



Fonte: Adaptada de Pinheiro (2009)

- Equação 1 – Cálculo do Ritmo de produção: $R = \frac{(n-1)}{Tr}$

Onde:

R: ritmo das atividades, ou razão da execução das unidades pelo tempo;

n: unidades de repetição ou lotes de produção;

Tr: tempo atribuído para execução das restantes unidades de repetição;

- Equação 2 – Duração total do projeto

$$Dt = Tm + Tb + Tr + Tf$$

Onde:

Dt: duração total do projeto;

Tm: tempo de mobilização, ou preparação;

Tr: tempo atribuído para execução das restantes unidades de repetição;

Tf: tempo de folga, buffer ou pulmão;

Haverá, certamente interferências entre atividades de acordo com a simulação das linhas de produção, o que implica, na ponderação necessária no balanceamento dessas atividades a fim de as executar sem interferências, ou seja, de forma contínua (MENDES, Jr., (1999 *apud* SENIOR Sistemas 2025)).

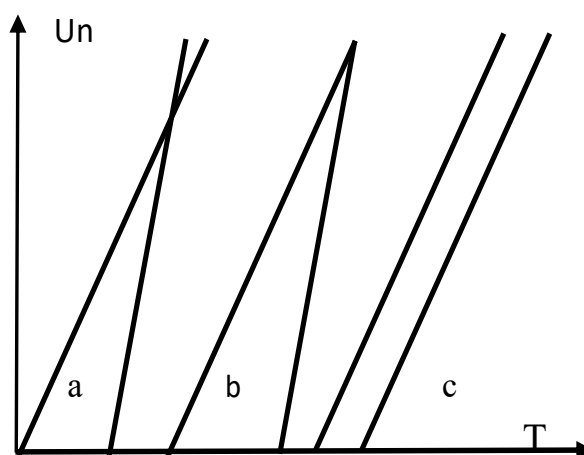
O exemplo do balanceamento das atividades, mantendo o ritmo constante de produção, poderá ser exemplificado recorrendo a uma analogia metafórica do “escoteiro Herbie”, explicada pela metodologia da “Teoria das Restrições” Goldratt e Cox (2002).

Os autores, para demonstrar os impactos de atividades de baixo ritmo, em um sistema global de produção, exemplificam: uma fila de escoteiros subindo um morro.

Nesta fila, um escoteiro segue e orienta-se por seu sucessor sem poder ultrapassá-lo. Se o escoteiro não conseguir manter o ritmo, imposto pelo parceiro da frente, provocará um distanciamento criando uma descontinuidade e atrasando também os que o precedem, todo o grupo (Mestrado Unicamp, 2022). Se o objetivo é que os escoteiros sigam juntos, é possível reduzir o ritmo dos que vão na frente, para que todos acompanhem, não obstante, como é necessário chegar ao topo do morro no prazo previsto, então, será necessário avaliar as causas dessa lentidão, encontrar soluções e, tomar decisões para melhorar o desempenho do escoteiro mais lento (GOLDRATT e Cox, 2002).

A Figura 13 ilustra possibilidades de balanceamento do ritmo de produção. Na Figura 13(a) observa-se a existência entre duas atividades, onde a atividade sucessora, intercepta a antecessora, situação que deve ser absolutamente evitada e corrigida. Entretanto na Figura 13 (b) há duas soluções possíveis: na primeira, ajusta-se o ritmo da atividade sucessora ao da antecessora o suficiente para criar uma folga no final das duas atividades e assim evitar a interceptação, ou ainda ajustar seu ritmo paralelo ao da atividade antecessora, conforme ilustrado pela Figura 13 (c).

Figura 13 – Caso de Desbalanceamento



Fonte: Adaptado de Mendes e Heineck (1997)

Para Mattos, (2022) tanto a programação paralela como a natural são métodos comparáveis para o gerenciamento de fluxos de produção, cada um com estratégias distintas para a gestão de recursos. Conforme discutido por autores da área de gestão da programação na construção, a abordagem paralela se caracteriza por equiparar os ritmos de execução, visando a redução de perdas e a minimização de ociosidade.

Em contrapartida, a programação natural, ou não paralela, atua no balanceamento de cada atividade para evitar gargalos, ajustando os ritmos para reduzir os tempos de abertura (*buffers*) entre as frentes de trabalho. Para Lucko et al., (2013) a escolha entre o paralelismo absoluto e o ritmo natural depende da produção da obra. Nas programações paralelas não há desperdícios de tempo entre atividades ou na passagem de uma unidade à outra e neste caso, a programação garante que a unidade seguinte estará livre para que o próximo serviço seja iniciado.

Segundo o Sienge (2025), o balanceamento das atividades na programação procura modular a execução, sugerindo a especialização na execução das tarefas, que uma vez organizadas, induzem a alguns benefícios, tais como; maior rapidez, clareza na execução e garantia de conclusão no prazo previsto. Conforme a literatura atualizada e Monteiro & Martins (2025), a metodologia da Linha de Balanço é amplamente considerada a mais adequada para projetos compostos por unidades de repetição - edifícios de vários pavimentos e loteamentos, etc - por possibilitar a análise precisa do ritmo de produção e o balanceamento de recursos, minimizando ociosidade e falhas no cronograma.

Segundo Formoso (2024) a literatura atual válida a Linha de Balanço como técnica de programação de alto desempenho para projetos repetitivos, sendo fundamental para evitar paralizações de equipes e otimizar recursos, ao demonstrar a sequência das tarefas de forma clara no tempo e no espaço.

Todavia, sua natureza linear implica numa limitação técnica, pois, não considera o efeito aprendizado observado na execução de atividades repetitivas, cuja hipótese de ritmos de produção linear, parecem não corresponder à realidade (ABDELMEGID et al., 2023). Porém técnicas analíticas e de simulação, podem evitar esse problema (Soman & Molina-Solana, 2022).

Estudos recentes concluem que a metodologia da Linha de Balanço (LOB) é, sem dúvida, uma das mais adequadas a projetos de construção compostos por ciclos repetitivos, pois, suas características permitem prever ou analisar, com relativa facilidade, o ritmo de qualquer processo de produção, montagem ou fornecimento, integrando princípios de Lean construction (ResearchGate, 2022).

2.13.3 (LOB) Processos Repetitivos

A construção de edifícios de múltiplos pavimentos caracteriza-se por uma elevada incidência de atividades cíclicas, classificando-se tecnicamente como projetos de construção repetitiva ou linear, nos quais a continuidade do fluxo de recursos é fundamental para a produtividade (MDPI, 2023). Esta tipologia de projeto, que também abrange infraestruturas com conjuntos habitacionais, obras de saneamento, rodovias e túneis, baseia-se na subdivisão da obra em unidades repetitivas (pavimentos, casas, anéis de túnel ou juntas). Nessas operações, a eficiência é maximizada através da especialização da mão de obra e do uso repetido de fôrmas, como gerenciamento voltado para a sincronização das equipes (fluxo) em vez de apenas a precedência lógica (PMI.org, 2024).

A alta repetitividade de tarefas em projetos de construção linear e o imperativo de incremento de produtividade impulsionaram a adoção de técnicas avançadas de planejamento focadas em padronização e modularização. A construção cíclica repetitiva, de edifícios de múltiplos pavimentos é caracterizada como um sistema de construção repetitivo vertical, no qual a sincronização das equipes e a continuidade do fluxo de trabalho são cruciais (TOMCZAK et al., 2022). Estratégias como a Linha de Balanço (LOB) e o Método de Programação Linear (LSM) são essenciais para otimizar o uso de recursos (mão-de-obra, materiais e equipamentos) em projetos horizontais, como rodovias, conjuntos habitacionais e obras de saneamento.

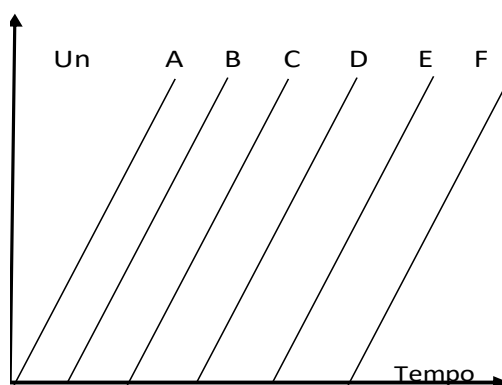
A modelagem contemporânea desses projetos considera unidades de produção – sejam elas unidades habitacionais, andares, seções ou juntas – focando na otimização da taxa de produção e na mitigação de ociosidade de recursos (ORACLE ASEAN, 2024).

A produção em edificações de múltiplos pavimentos caracteriza-se pela repetição de processos produtivos, diferenciando-se da produção tradicional baseada estritamente em projetos singulares (típicos do método empurrado) o que impõe desafios de coordenação e logística ao setor construtivo (Alves, 2020; Heineck, 2024). A repetição e a interdependência entre os fluxos de trabalho são aspectos fundamentais na gestão de empreendimentos repetitivos, onde o avanço das atividades subsequentes está condicionado ao encerramento correto e pontual do processo precedente. Devido a essa alta dependência, a gestão estratégica da produção impacta diretamente a competitividade das construtoras no mercado, sendo a linha de balanço essencial para garantir previsibilidade e estabilidade no ritmo de execução (Scribd, 2023; Senior, 2025).

Quanto às técnicas de programação para atividades sequenciais, a Linha de Balanço (LOB) – também denominada de método de planejamento por linha de fluxo ou diagrama

tempo-localização – é frequentemente empregada para otimizar o uso de recursos. As curvas de produção, que representam graficamente a execução de superestrutura e alvenaria de vedação (conforma Figura 14), demonstram o progresso físico no tempo e no espaço. A inclinação de cada curva de produção determina o ritmo de execução (produtividade/velocidade) dos processos repetitivos, usualmente medidos em pavimentos por mês (TurboChart, 2024; ResearchGate, 2024). Adicionalmente, essas curvas possibilitam a determinação dos tempos de ciclo, a identificação de interferências entre equipes e a previsão precisa da duração total do projeto (LOB Scheduling, 2024).

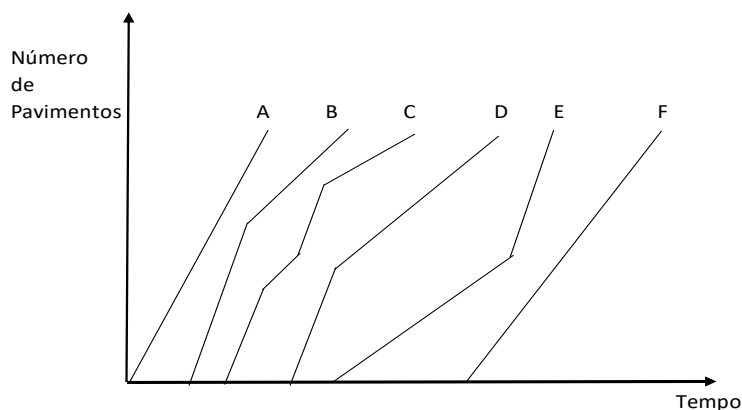
Figura 14 - Curvas de produção para processos repetitivos



Fonte: Adaptado de Mendes (1999)

Na construção de edifícios de múltiplos pavimentos, os projetos de construção repetitivos, apresentam processos com diferentes ritmos de produção. Nessas condições, é comum ocorrer o desbalanceamento dos ritmos de produção.

Segundo Olli Seppanen, (2020), o desbalanceamento ocorre quando a taxa de produção (inclinação da linha) não é constante, causando necessidade de estoques intermediários ou ociosidade. Um exemplo deste fenômeno, aparece nos processos da Figura 14 representado na Figura 15. Nesta figura, pode ser observado, por exemplo, que o processo “B” inicia com um ritmo de produção mais rápido (inclinação menor) do que o processo “A”. No entanto, quando o processo “B” intercepta o processo “A”, em determinado pavimento, seu ritmo de produção deve ser alterado, ou, o processo ser interrompido. Quando não existe continuidade de uma linha de produção, caracterizado por uma quebra (mudança no ritmo), é sinal de desequilíbrio desta atividade (MATTOS, 2022).

Figura 15 – Curvas de produção não balanceadas

Fonte: Adaptado de Mendes (1999)

Science Direct (2024), analisa este desequilíbrio como potencialmente negativo e propenso a afetar a performance do projeto, pois pode causar interrupções nas tarefas, utilização ineficiente das equipes e equipamentos e, conseqüentemente, custos excessivos. A função da programação de atividades em projetos repetitivos é essencialmente balancear os ritmos de produção e fazer boa utilização dos recursos. Todavia, na construção de edifícios nem sempre é feito o balanceamento para todos os processos de uma só vez. Frequentemente, a prática usual é a divisão do projeto em fases construtivas distintas (subsistemas), criando-se mais facilidade para o balanceamento dos ritmos (MDPI, 2023).

2.13.4 Balanceamento das Atividades

Na gestão de produção de projetos repetitivos – edifícios de múltiplos pavimentos - a imposição de um ritmo de trabalho (ritmo de balanço) idêntico para todos os serviços, sem considerar suas produtividades distintas, induz ao planejamento paralelo ou ineficiente. Conforme destacado por autores contemporâneos, Senior (2025); Webinar (2025), a equalização forçada de durações - como fixar uma semana por andar para atividades de ciclos desiguais – gera distorções, ocasionando subutilização de equipes em tarefas rápidas ou demanda excessiva de recursos em tarefas lentas, resultando em desequilíbrio na Linha de Balanço e custos diretos elevados.

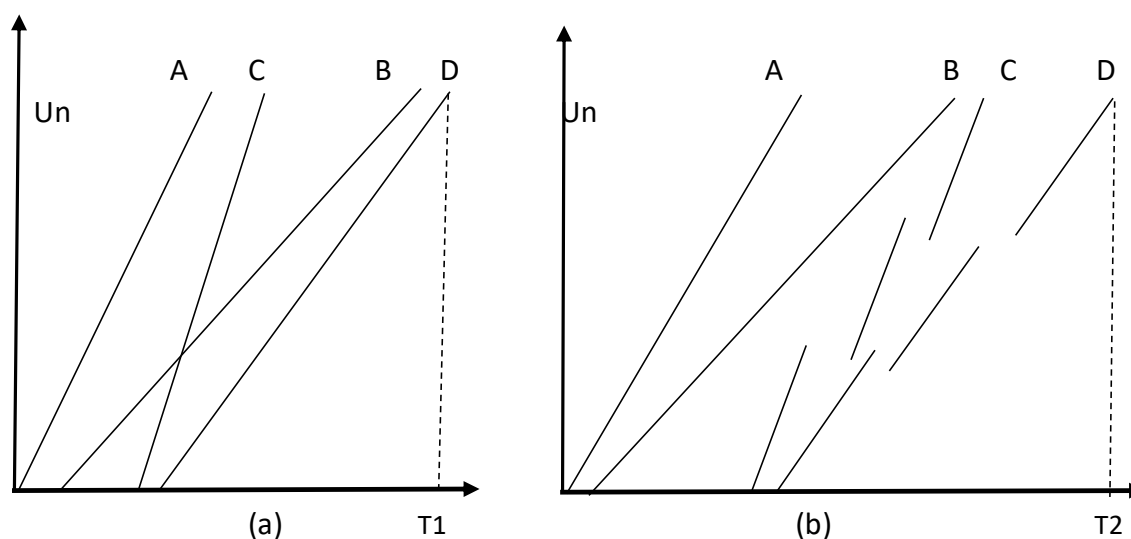
O objetivo primordial do balanceamento de linha na construção civil é assegurar a continuidade do fluxo de produção, otimizando o ritmo de trabalho e eliminando interferências entre equipes subsequentes, garantindo um processo contínuo e com o mínimo de desperdícios (Lean Construction). A análise detalhada das interferências técnicas e o conjunto de processos

repetitivos, representados através da Linha de Balanço (LinBal), é imperativa para uma programação segura e eficiente (PÉRICAS, 2023).

Como exemplo de balanceamento procurou-se analisar a Figura 16 na qual se verificou a necessidade do balanceamento das operações, desde que, seja atribuído a cada serviço o ritmo compatível com as necessidades e meios disponíveis.

Na Figura 16 (a), considerando a possibilidade de interferências durante a execução das atividades, se o Gráfico da Linha de Balanço estivesse correto, resultaria na duração T_1 para a duração total do projeto. Porém, considerando que essas interferências não podem existir, ou seja, não pode haver interseção das curvas de produção e estas atividades devem ser executadas na sequência (A-B-C-D) em cada pacote de atividades, logo, a execução realista destas atividades, daria origem ao gráfico da. Figura 16 (b), com a duração de projeto T_2 , maior que T_1 . Assim, a nova versão balanceada Figura 16 (b), mostra as curvas das atividades com ritmos mais lentos, onde as atividades são interrompidas e recomeçadas (*buffers*) num instante de tempo posterior. Observando ainda, a Figura 16 (b) a atividade gargalo do sistema seria a curva “B” que também atrasa as atividades “C” e “D”, criando aberturas (tempo ocioso) após sua execução.

Figura 16 (a) e (b) – (LOB) balanceada

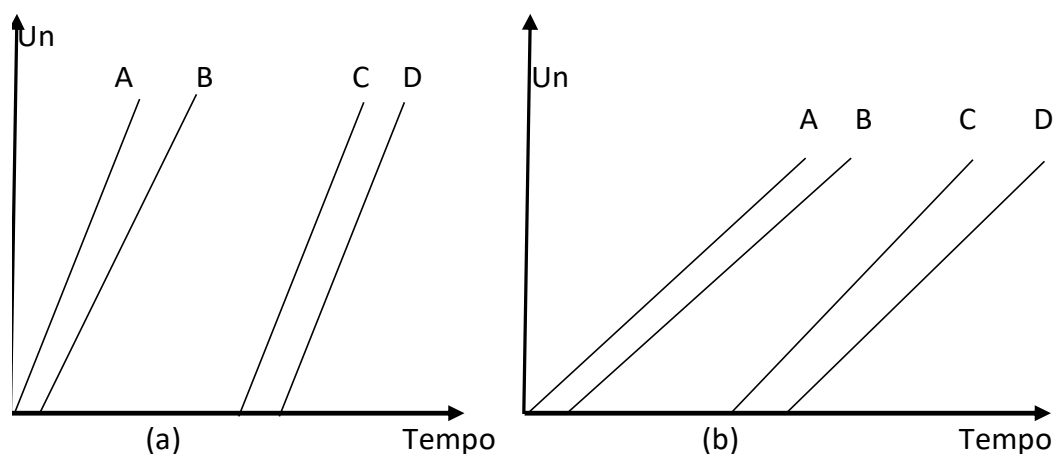


Fonte: Adaptado de Mendes (1999)

As soluções ilustradas nas Figuras 16(a) e (b) podem ser comparadas, na metodologia da Linha de Balanço, com as programações paralela e natural, também referidas como programação de recursos. Na programação paralela, todas as atividades apresentam ritmos de produção muito próximos, tempos de abertura entre as unidades reduzidos e, menores perdas nos recursos (equipamentos e pessoal).

Entretanto, para o caso em estudo, a Figura 17, a solução com programação paralela, pode ser a mostrada na Figura 17 (a) e (b). Na solução (a) o ritmo da atividade “B” foi acelerado, ficando próximo ao da atividade “A”, na solução (b), os ritmos das outras atividades foram reduzidos para próximo ao da atividade “B” e a decisão sobre a melhor solução a adotar, usualmente, não depende apenas da duração total das atividades, mas também da disponibilidade de recursos.

Figura 17 (a) e (b) – Balanceamento das atividades em programação paralela.

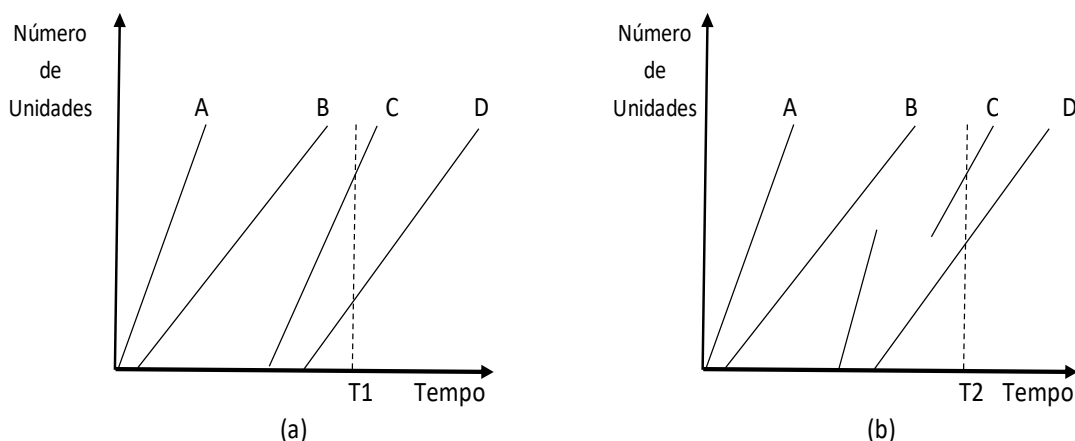


Fonte: Adaptado de Mendes (1999)

Entretanto, para a programação não paralela, os ritmos de cada atividade são mantidos, alterando-se apenas o início das atividades sucessoras após uma atividade gargalo, conforme mostrado na Figura 17 (a). Na sequência destes ajustes, a duração total das atividades será aumentada e a distribuição das equipes modificada, ao longo da execução da obra.

Conforme abordado na literatura de gestão de produção (Mendes Jr., 1999; Heineck et al., 1998), estratégias complementares são necessárias para reduzir o prazo total, potencializar a atribuição de equipes e estabilizar o ritmo de execução. Tais intervenções incluem o ajuste do ritmo em atividades gargalo, a redução dos tempos de espera entre etapas consecutivas e a minimização de interrupções, viabilizando o início antecipado de novas frentes de trabalho (Heineck et al., 1998; Rocha et al., 1998). Essas soluções incluem, quando necessário, alterações nos ritmos de atividades gargalo, redução de tempos de abertura entre tarefas e controle de oscilações em produções aceleradas, tendências reforçadas pela aplicação de princípios Lean, que visam a redução de desperdícios e a otimização do fluxo de valor (Ballard, 2000; Aziz & Hafez, 2013; Lean Construction Institute, 2023).

Figura 18 (a) e (b) – Programação não balanceada

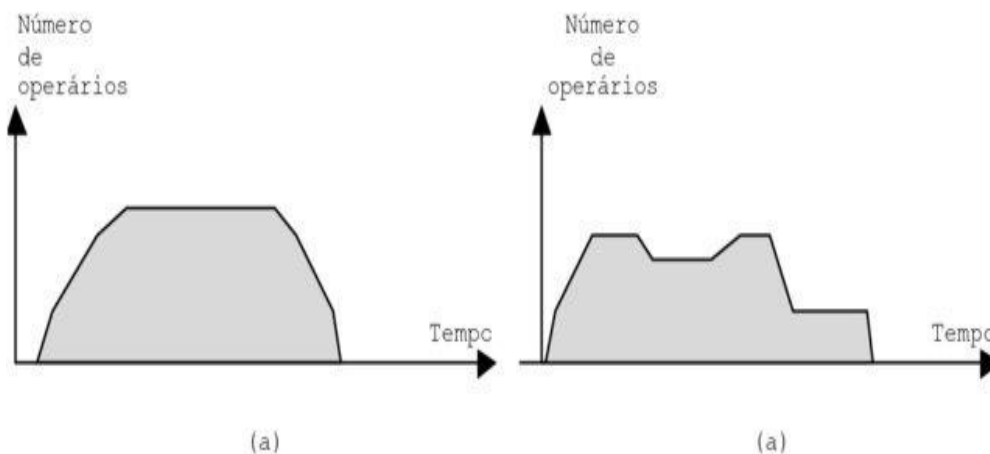


Fonte: Adaptado de Mendes (1999)

Assim, observando as Figuras 17 e 18 conclui-se que:

- O tempo médio de execução de uma unidade repetitiva na programação paralela é o menor possível e praticamente constante, não variando com o ritmo de produção adotado, nem com o número de unidades do projeto. No exemplo das Figuras 17 (a) e 17 (b) o tempo de execução de uma unidade é medido da atividade “A” até à atividade “D”;
- Na programação não paralela o tempo de execução médio de uma unidade repetitiva é bem maior, e varia com o ritmo de produção das atividades e com o número de unidades. Na Figura 19(a), por exemplo, se o ritmo da atividade “B” for reduzido o tempo de execução médio das unidades reduzirá também;
- Na programação paralela o período de utilização das equipes é mais uniforme, seguindo a forma trapezoidal, como mostra a. Figura 19 (a). Na programação não paralela, a distribuição é mais irregular, como mostra a. Figura 19 (b);
- Os desvios da programação são mais significativos na programação paralela, pois na programação não paralela as aberturas (*buffers*) entre as atividades permitem correções de ritmo de produção sem interferências com as atividades sucessoras. Na Figura 18(a), por exemplo, a atividade “A” tem uma folga no seu termino em relação à atividade “B” que permitirá atrasos ou interrupções na sua execução. Já a atividade “B” tem alguma folga até aproximadamente a metade das unidades, mas se tiver atraso na conclusão das últimas unidades, então irá provocar interferência com a atividade “C”.

Figura. 19(a) e (b) – Distribuição dos recursos



Fonte: Adaptado de Mendes (1999)

Segundo Junqueira (2006) ao se comparar os dois métodos pode-se concluir que:

- O tempo médio de execução de uma unidade repetitiva na programação paralela é o menor possível e praticamente constante, não variando com o ritmo de produção adotado, nem com o número de unidades do projeto.
- Na programação não paralela o tempo de execução médio de uma unidade repetitiva é bem maior, e varia com o ritmo de produção das atividades e com o número de unidades.
- Na programação paralela o período de utilização das equipes é mais uniforme, seguindo a forma trapezoidal, como mostrado na Figura 19 (a). Na programação não paralela, a distribuição é mais irregular, como mostra a Figura 19 (b).

A programação paralela é altamente eficaz em projetos repetitivos, como conjuntos habitacionais, permitindo padronizar o ritmo de produção na maioria das atividades. Na construção de edifícios, as atividades podem ser parcialmente balanceadas, aplicando-se o paralelismo a grupos específicos de tarefas. Embora o processo convencional – estrutura de concreto armado seguida por vedações e revestimentos - tenda a uma programação não balanceada, a programação paralela pode ser facilmente implementada em fases específicas (ex: alvenaria e instalações simultâneas em pavimentos diferentes).

A redução dos prazos e a industrialização da construção (padronização e pré-montagem) impulsionam a transição da programação linear para a paralela. Estudos recentes, como os de Abdullah Turk (2025) e análises sobre o *Linear Scheduling Method* com *Equipment Combination* (LSM-ECC), já demonstram as vantagens do paralelismo na otimização de redes lógicas e redução da ociosidade. Autores contemporâneos, como Faghihi et al. (2024) e Metroc

(2024), reforçam que o balanceamento contínuo de equipes e componentes pré-fabricados reduz o tempo de espera, melhorando a produtividade em múltiplos pavimentos.

2.13.5 Aplicação da Linha de Balanço

A aplicação da metodologia da Linha de Balanço (LOB – Line of Balance) é um processo sistemático que integra decisões táticas e operacionais, fundamentadas em variáveis intervenientes no planejamento da produção, com o objetivo de assegurar o ritmo contínuo das equipes e o cumprimento dos prazos. Segundo Mendes Jr. (1999) e corroborado por autores contemporâneos como: Arditi et al. (2021); Xia et al. (2024), as principais variáveis que norteiam essa programação incluem:

- Definição da unidade de repetição (zona, pavimento, bloco);
- Atividades programadas;
- Rede de precedências lógica entre as tarefas;
- Dimensionamento e tamanho das equipes;
- Produtividade (duração das atividades em uma unidade típica);
- Quantidade de equipes por atividade (frentes de trabalho);
- Sentido de execução (fluxo de produção);
- Prazo total da obra;

Estudos contemporâneos corroboram que a técnica busca balanceamento do ritmo de produção das equipes, evitando picos de contratação e ociosidade. Autores como Heineck et al. (2008), em estudos sobre sistemas de produção na construção, referenciam a estruturação da LOB para análise de cenários como:

- 1 Fragmentação:** Divisão do projeto em atividades repetidas;
- 2 Alocação:** Definição dos recursos e equipes;
- 3 Ritmo:** Determinação do ritmo de entrega das unidades (takt time);
- 4 Sequenciamento:** Definição da precedência das atividades e o ritmo de produção.

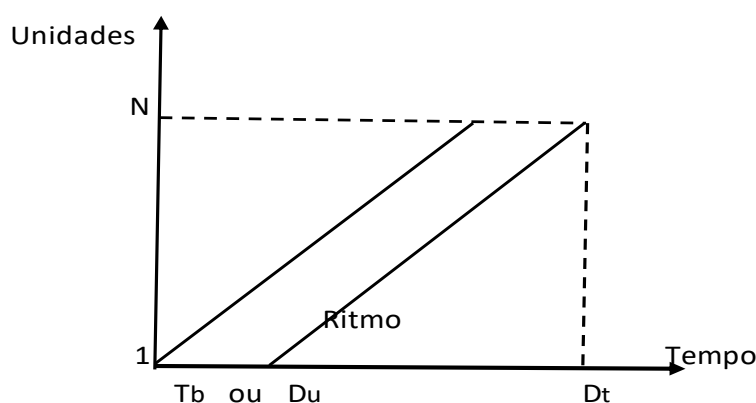
A aplicação eficaz da LOB exige conhecimento profundo da produtividade das equipes dos tempos de ciclo de cada atividade, permitindo o correto balanceamento de recursos, conforme proposto por Maziero (1990) e conformato por revisões de literatura atuais como: Calampa (2021); Prevision/Sienge (2025), a LOB se diferencia de métodos tradicionais, como o CPM (*Critical Path Method*), ao apresentar zonas ou trechos na vertical e períodos de tempo

na horizontal, utilizando barras inclinadas que representam o ritmo de cada tarefa (ResearchGate,2024).

Especialistas em tecnologia para a construção civil, como Sienge (2023) e Prevision (2024) destacam que a Linha de Balanço (LOB) é uma ferramenta superior ao CPM para obras de natureza repetitiva – como edifícios de múltiplos andares e loteamentos – pois facilita a visualização do andamento por pavimento, permitindo a identificação imediata de gargalos e unidades concluídas. Ademais, a metodologia integra-se à Construção Enxuta (Lean Construction), mirando na otimização de fluxo e minimização de interrupções, sendo uma abordagem de planejamento que conecta canteiro e escritório em tempo real.

A seguir exemplifica-se o procedimento de cálculo para a programação paralela ou a definição de um único ritmo de execução e conclusão das unidades, conforme ilustrado na Figura 20. A partir deste cálculo, determina-se a quantidade de equipes necessárias para cada atividade dentro do ritmo adotado.

Fig. 20 – Conclusão de atividades no prazo



Fonte: Com base em Mendes (1999)

Assim, considerando a. Figura 20, tem-se:

- **D_t** – Duração total, prazo para execução das atividades repetitivas nas unidades. Este prazo é obtido descontando-se do prazo total da obra, o tempo para a execução das atividades não repetitivas, tais como, serviços preliminares e fundações;
- **T_b ou D_u** : tempo de base ou Duração unitária, é a duração das atividades numa unidade. Este prazo é obtido considerando-se a execução de cada atividade numa única unidade segundo uma sequência lógica definida pela rede de precedências;

N: Número de unidades.

O Ritmo de conclusão, R, em dias por unidade, será calculado pela equação 3.7.1:

$$R = \frac{Dt - Tb}{N - 1}$$

O número de equipes necessárias para a execução de uma atividade, tendo-se estabelecido o tamanho da equipe e a duração na unidade, Du , é obtido pela equação 3.7.2

$$Ne = \frac{Du}{R}$$

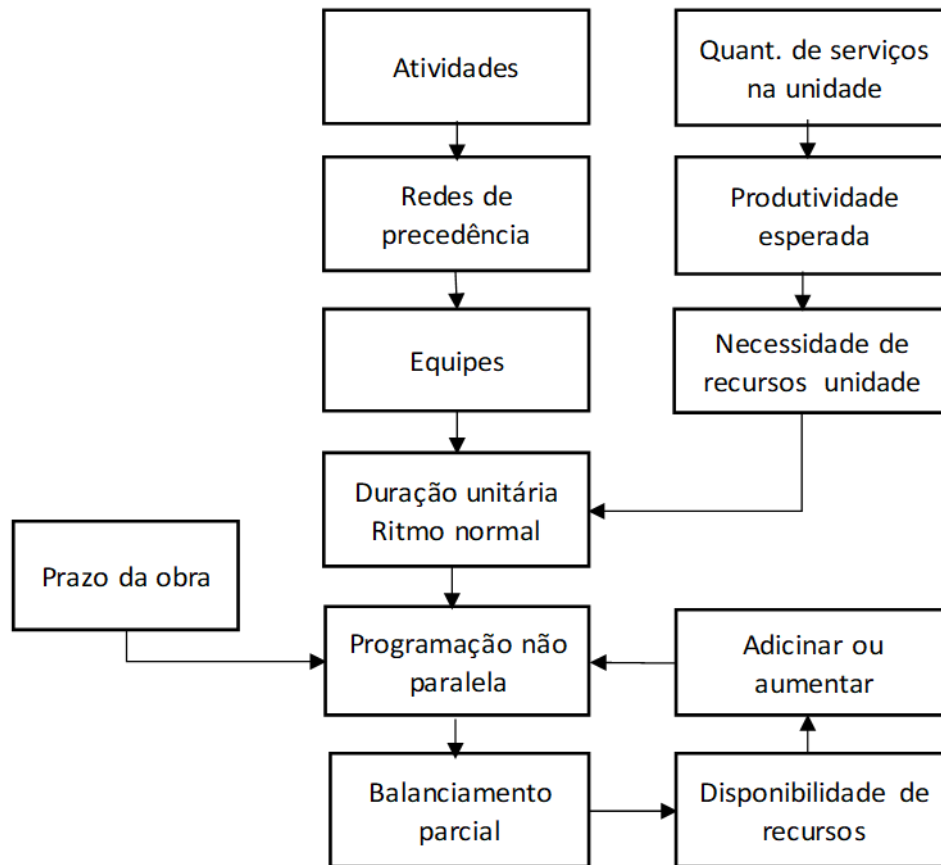
Como o número de equipes deve ser inteiro, é necessário arredondar o resultado da equação 3.7.2 para o primeiro inteiro superior.

Quando uma única equipe executa uma atividade repetitiva, o ritmo de produção (definido em unidades de tempo por unidade de produção) é igual à sua duração unitária (Du), conceito conhecido como **Ritmo Natural**. Estudos focados em Linha de Balanço e Construção Enxuta indicam que, se o Ritmo Natural da equipe não for compatível (múltiplo ou divisor) com o Ritmo de Balanceamento definido para a obra, ocorrerá ociosidade, gerada pela necessidade de ‘buffers’ de tempo entre a conclusão de uma unidade e o início da próxima (WESOLOWSKY, 2020; FORMOSO, 2021).

Na abordagem de programação não paralela (ou balanceamento parcial), os ritmos das atividades são ajustados parcialmente, eliminando a necessidade de impor um único ritmo de conclusão para todas as unidades, o que frequentemente gera ociosidade. A metodologia descrita adota essa hipótese. Em vez disso, utiliza os Ritmos Naturais das atividades, realizando o balanceamento através da compatibilização sequencial entre ritmos de atividades sucessivas.

Quando uma única equipe executa uma atividade repetitiva, o ritmo de produção – definido em dias por unidade – é igual à sua duração unitária (Du). Este conceito é denominado Ritmo Natural. Conforme estudos recentes sobre “Location-Based Management System” (LBMS) e “Takt-time planning” (Olivieri et al., 2019; Frandson et al., 2013), quando o Ritmo Natural de uma atividade não é múltiplo do ritmo de produção definido para a obra (ritmo de balanceamento), haverá ociosidade de equipe, gerada pela espera entre a conclusão de uma unidade e o início da próxima.

As etapas de aplicação da técnica de Linha de Balanço estão representadas na Figura 21. Autores recentes, como AECweb (2025) e Sienge/Prevision (2025), destacam que a LOB é superior ao método do Caminho Crítico (CPM) para obras repetitivas – como edifícios de múltiplos andares e loteamentos – pois facilita a visualização do andamento por pavimento, permitindo a identificação imediata de gargalos e unidades concluídas. A metodologia integra-se aos princípios da Construção Enxuta (*Lean Construction*), visando a otimização de fluxo e a minimização de interrupções.

Figura 21 - Aplicação da técnica da Linha de Balanço

Fonte: Adaptado de Mendes (1999)

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da Pesquisa

A presente pesquisa, de natureza aplicada, visa a melhoria de processos reais no setor da construção civil, focando na superação de métodos tradicionais de planejamento e controle que frequentemente resultam em baixa produtividade e desperdícios. A abordagem da pesquisa é predominantemente **qualitativa**, com suporte **quantitativo**, caracterizando-se como **descritiva e exploratória** (YIN, 2021)

Quanto à natureza e abordagem, trata-se de uma pesquisa aplicada, pois busca soluções práticas para problemas de gestão na produção (canteiro de obras), propondo a integração da Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking / Construction*) com a técnica de Linha de Balanço. A abordagem qualitativa é utilizada para compreender e interpretar a dinâmica da obra, os fluxos de trabalho e a cultura organizacional. Complementando, a abordagem quantitativa é aplicada por meio de indicadores de desempenho (como ritmo de produção, produtividade da mão de obra e cumprimento da programação – PPC) para avaliar a eficácia dos métodos propostos.

Entretanto quanto aos objetivos e fins a pesquisa é exploratória, pois busca familiarizar-se com desafios intrínsecos da gestão de produção em canteiro de obra, oferecendo uma compreensão aprofundada sobre a inovação tecnológica no planejamento. Além disso, é descritiva, analisando e demonstrando a desatualização dos métodos tradicionais frente às exigências contemporâneas de qualidade e eficiência.

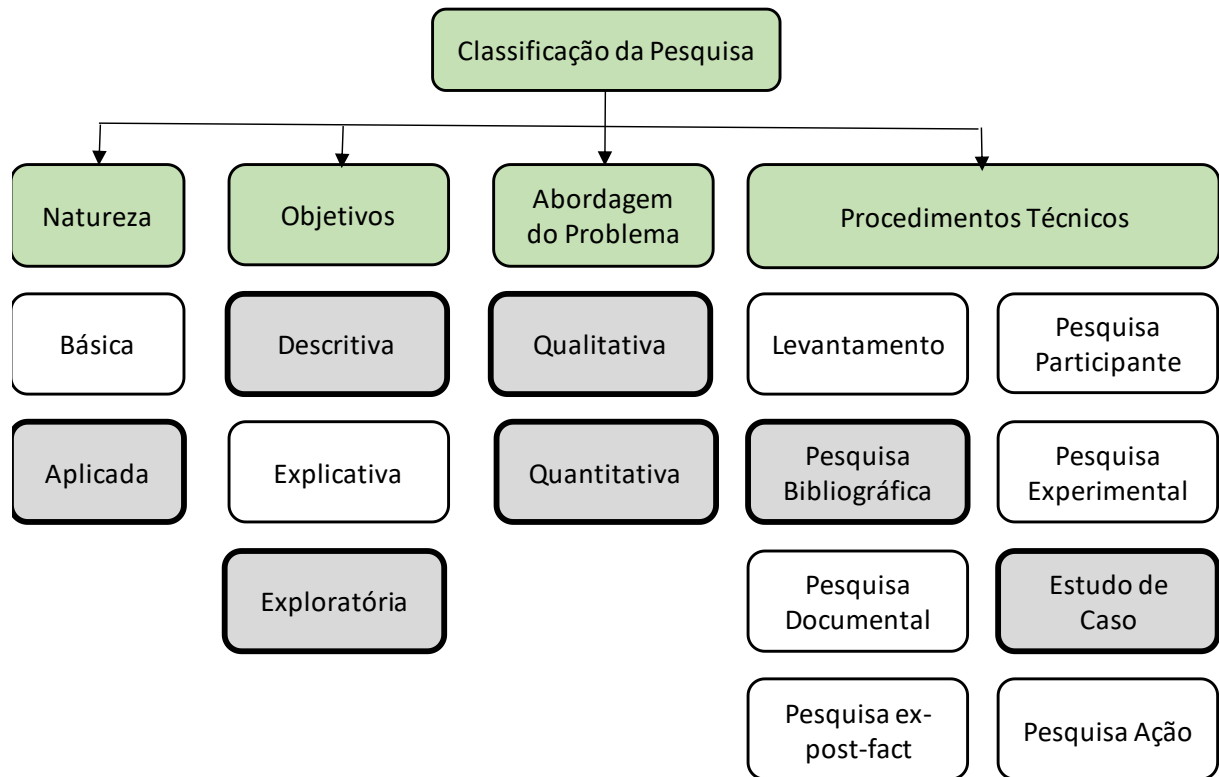
Este trabalho compõe-se também de alguns procedimentos técnicos pois utiliza também o método de estudo de caso único, no qual se realiza uma simulação da aplicação da Linha de Balanço (LdB) em um projeto específico. Conforme preceitua Yin (adaptado para construções lineares e repetitivas, como edifícios), esta abordagem é ideal para investigar fenômenos contemporâneos dentro de um contexto real (YIN, 2021; AMARO LANTELME, 2021). A simulação permite enfrentar situações técnicas singulares onde coexistem múltiplas variáveis (setorização, ritmo, recursos), superior ao número de pontos de dados, permitindo a validação da melhoria e a redução de perdas na cadeia produtiva.

A pesquisa bibliográfica fundamentou-se na análise crítica de literatura especializada, abrangendo livros, periódicos científicos e teses relacionados à gestão de produção na construção civil (JESUS; SOUSA, 2022). No contexto da otimização de fluxos produtivos, Mendes Jr. (1999) e Heineck *et al.* (1998) destacam que estratégias complementares são

fundamentais para a redução do prazo total da execução, otimização da alocação de recursos humanos e a estabilização do ritmo de produção (takt time).

A Figura 22 apresenta o fluxograma da classificação da pesquisa com objetivo de ilustrar os métodos utilizados.

Figura 22 - Classificação da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

3.2 Contextualização da Pesquisa

Este trabalho de pesquisa teve como objetivo principal a elaboração e aplicação da técnica de Linha de Balanço como ferramenta de planejamento e controle de produção. O estudo simulou a aplicação desta metodologia em um projeto preliminar de um edifício habitacional, alinhando-se aos conceitos de planejamento e gestão da produção amparados na Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*). A simulação foi desenvolvida com base em um projeto de edifício situado no município de Juazeiro do Norte – CE, no bairro Lagoa Seca, composto por térreo mais 3 andares (T+3), focando na otimização do fluxo de trabalho, redução de interrupções e balanceamento das equipes de trabalho.

3.3 Metodologia da Pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo teórico-prático, fundamentado em revisão bibliográfica e simulação de estudo de caso. A fundamentação teórica baseou-se em artigos científicos, dissertações, teses e publicações especializadas, abordando os conceitos da filosofia *Lean Construction* (Construção Enxuta) e sua interface com a técnica de Linha de Balanço (LdB).

O referencial teórico baseou-se em um levantamento bibliográfico descritivo, visando sintetizar os principais conceitos e ferramentas do *Lean Construction*. A seleção dos materiais incluiu publicações do IGLC.net, repositórios da biblioteca do Lean Institute Brasil (LIB) e Google Acadêmico. A pesquisa estruturou-se a partir de palavras-chave como: mentalidade enxuta, planejamento e gestão de obra, produtividade, simulação e linha de balanço, organizando o estado da arte dessas temáticas.

O processo metodológico seguiu as seguintes etapas:

- 1. Levantamento e Seleção:** Pesquisa bibliográfica focada na interseção entre filosofias *Lean* e LdB.
- 2. Análise Preliminar:** Leitura crítica e análise de publicações relevantes, com seleção de estudos recentes sobre a aplicação conjunta da LdB e princípios *Lean*.
- 3. Simulação de Caso:** Aplicação dos conceitos teóricos em um estudo de caso preliminar. A simulação consistiu na elaboração do planejamento de produção para a construção de um bloco habitacional multifamiliar (térreo mais 3 andares), situado no bairro Lagoa Seca, em Juazeiro do Norte – CE, aplicando os princípios *Lean Thinking* (Mentalidade Enxuta / Construção Enxuta) e ferramentas de gerenciamento da produção.

A simulação busca demonstrar como a Linha de Balanço pode melhorar a previsibilidade de prazos, reduzir desperdícios e otimizar o fluxo de trabalho entre equipes, alinhando a execução às filosofias de produção enxuta.

3.4 Descrição do Projeto e Estudo de Caso

O objeto de estudo é um edifício residencial multifamiliar de padrão médio, projetado para o município de Juazeiro do Norte, Ceará. A edificação é composta por quatro pavimentos (Térreo +3 pavimentos tipo), com dois apartamentos por andar, totalizando oito unidades habitacionais. O projeto executivo adota um conceito de planta repetitiva, facilitando a aplicação de métodos construtivos racionalizados, ilustração na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados Técnicos do Projeto

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÕES
Tipologia	Multifamiliar (Padrão Médio)
Pavimentos	4(Térreo + 3 pisos)
Unidades / Andar	2
Total de Unidades	8
Área Privativa / Apartamento	114,0 m ²
Área Construída / Pav Tipo	255,0 m ²
Área comum / Pavimento	27,0 m ²
Área Construída Total	1020,0 m ²
Estrutura	Concreto Armado
Sistema de Laje	Pré-moldada (vigota/lajota EPS)
Vedação vertical	Alvenaria em bloco cerâmico
Acabamentos	Revestimentos cerâmico e pintura.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

3.4.1 Metodologia e Estrutura da Simulação

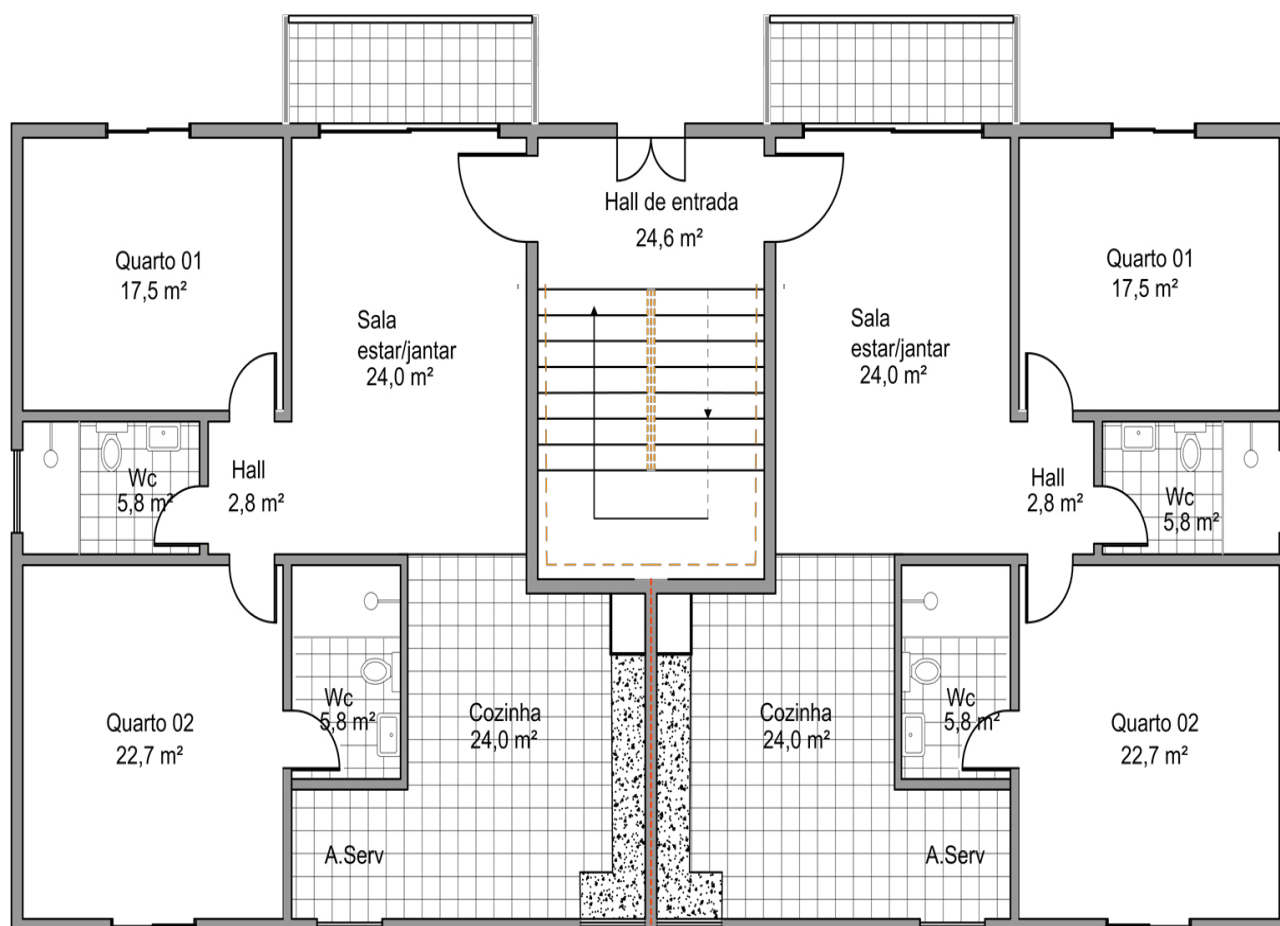
Por se tratar de um estudo de viabilidade, a edificação não possui, no momento, projetos definitivos de especialidades (hidrossanitários, elétrico, estrutural compatibilizado), nem tampouco planejamento detalhado de obra. Portanto, este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso simulado, focado na aplicação de novas metodologias de Planejamento, Controle e Gestão da Produção.

3.4.2 Planejamento e Linha de Balanço.

A Figura 23, planta baixa do andar modelo, foi utilizada como base para a modelagem em ambiente AutoCAD, permitindo a quantificação dos pacotes de trabalho e o sequenciamento lógico das atividades. Com base na repetição dos pavimentos (apartamentos) será desenvolvida a ferramenta Linha de Balanço, com o objetivo de:

- Determinar a precedência lógica e tecnológica das atividades;
- Balancear o ritmo de produção entre as frentes de trabalho;
- Realizar a medição e o controle físico da obra;

Figura 23 – Planta Baixa do Pavimento tipo.



Nota: A planta apresentada refere-se ao estudo preliminar e encontra-se sem escala definida.

3.4.3 Determinação da unidade base (repetição)

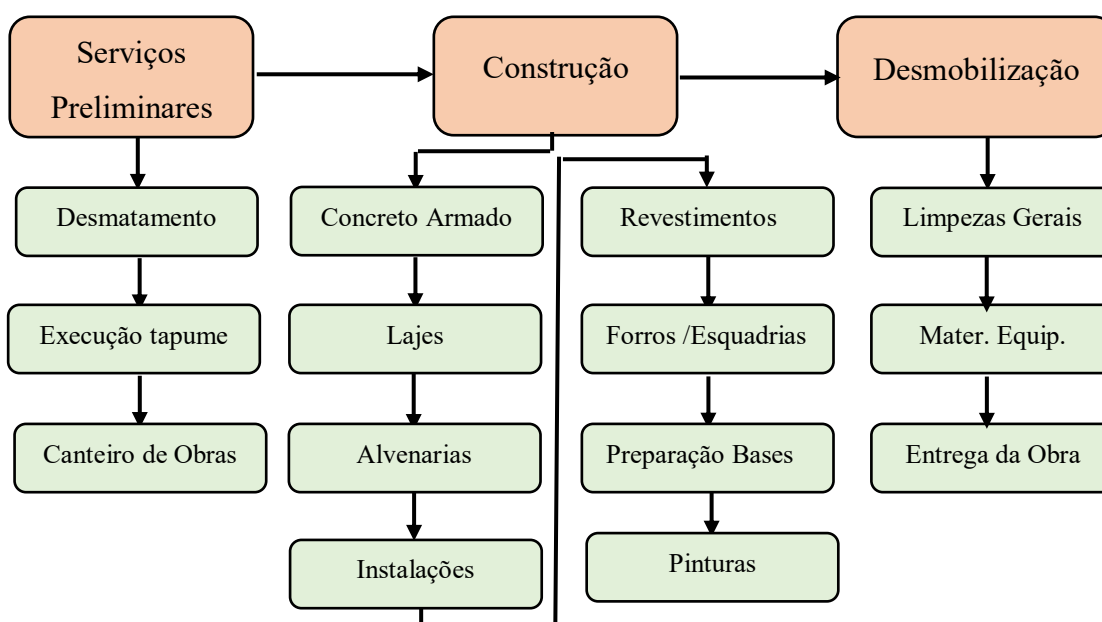
Para a elaboração da programação de longo prazo do empreendimento utilizando a Linha de Balanço, foi fundamental determinar a unidade base de repetição. Tratando-se de um edifício de múltiplos pavimentos, onde cada piso é constituído por dois apartamentos, incluindo áreas comuns (escadas, halls, corredores) e considerando a similaridade de áreas e distribuição espacial, adotou-se o “apartamento modelo” como unidade base de repetição.

Fixada essa unidade, que garante características técnicas repetitivas exigidas pelo projeto, cada apartamento representa um conjunto de atividades sucessivas e consecutivas. O edifício ainda não possui planejamento definitivo, operando apenas com um estudo prévio de intenções focado nesta simulação, o que se aplica também aos projetos de especialidades e estudos de viabilidade. Portanto, este trabalho constitui um estudo de caso onde em forma simulação, são aplicadas novas metodologias de Planejamento, Controle e Gestão da Produção na construção civil.

3.4.4 Identificação das atividades

A identificação das atividades do cronograma integra a Estrutura Analítica do Projeto (EAP), a qual permite a decomposição do projeto em componentes menores (pacotes de trabalho), facilitando o sequenciamento executivo, a definição de precedências e a identificação de atividades predecessoras e sucessoras. Segundo Mattos (2010) e corroborado por Sienge (2025), a EAP é uma estrutura hierárquica que subdivide o escopo total da obra em níveis de detalhamento sucessivamente menores. Nesta fase preliminar, é indispensável o estudo exaustivo dos projetos e memoriais técnicos, para garantir a compreensão da metodologia construtiva planejada. Nesse contexto, junta-se em anexo, a Figura 24, ilustrativa da EAP de acordo com a sequência executiva do fluxo de atividades,

Figura 24 – Estrutura analítica do Projeto. (EAP)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Após a elaboração da EAP e a análise dos documentos técnicos, definiram-se os pacotes de trabalho e a sequência lógica de execução da obra. A decomposição desses pacotes em atividades detalhadas é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3– Descrição dos pacotes de serviços.

ESTRUTURA ANALÍTICA DO PROJETO

CAP	PACOTES DE ATIVIDADES	DESCRIÇÃO
1	Serviços Preliminares	Limpeza e desmatamento da área de construção, incluindo espaços destinados ao canteiro de obras. Ligação de tomadas de rede de água e elétrica, execução de vedação em todo o perímetro da obra, Constituída por tapume metálico, incluindo todos os trabalhos necessários às instalações do canteiro de obra.
2	Estruturas em concreto armado	Execução de pilares, vigas, caixas de escadas, incluindo fixação e amarração de formas. Preparação, montagem e fixação de moldes (cofragens) e respectivas armaduras, concretagem de todos os elementos estruturais, incluindo restantes trabalhos necessários ao bom acabamento.
3	Lajes	Execução de laje em cada apartamento, composta por vigotas pré-moldadas, bloco cerâmico ou equivalente, incluindo armaduras em aço CA50 e malha eletrossoldada quando necessária. Preparação, montagem e fixação de moldes (formas), respectivas armaduras, concretagem, adensamento e todos os trabalhos necessários à boa execução.
4	Alvenarias de vedação	Locação dos eixos das paredes exteriores e interiores. Fornecimento e assentamento de blocos cerâmicos tipo 14x19x29 cm, em paredes de vedação exterior, incluindo o fornecimento e aplicação das respectivas argamassas de assentamento. Idem em paredes internas (divisórias) com bloco cerâmico tipo 9x19x29 cm e respectivos trabalhos necessários ao bom acabamento.
5	Instalações / redes técnicas	Pré-instalação das redes de abastecimento de água, energia elétrica e sanitária, incluindo abertura e fechamento de roços em pisos e paredes conforme traçados determinados em projeto. Montagem e instalação das respectivas tubagens e acessórios, incluindo equipamentos de manobra. Os materiais e acessórios de acordo o fixado em caderno de encargos e peças desenhadas.
6	Revestimentos	Execução de chapisco, camada de emboço se necessário e reboco, em áreas previstas para

		receber pintura. Nos restantes áreas fornecimento e assentamento de cerâmicos, azulejos e preparação de bases para receber pinturas incluindo impermeabilização em áreas molhadas (cozinhas e banheiros)
7	Forros e esquadrias	Instalação das esquadrias de portas e janelas, incluindo fixação de caixilhos ou aros, alisares e, todos os trabalhos necessários ao bom acabamento. Execução de forros conforme previsto em caderno de encargos e peças desenhadas.
8	Preparação de bases e acabamentos	Testes e ensaios das redes de serviço, água, energia elétrica, redes sanitárias e equipamentos de operação e manobra, incluindo pressões de serviço, estanqueidade, funcionalidade, segurança operacionalidade. Retoque e ajustes necessários e todos os trabalhos necessários ao bom acabamento.
9	Pinturas	Preparação de bases das paredes, incluindo aplicação de fundo preparador ou selador se necessário, prontas a receber pinturas. Idem em esquadrias portas e janelas incluindo fornecimento e aplicação de tintas e vernizes. Execução de pinturas incluindo fachadas externas e internas, conforme definido no caderno de encargos.
10	Limpezas e desmobilização	Limpezas finais de toda a obra, incluindo retirada de materiais sobantes, entulhos, painéis publicitários, tapumes e outros elementos usados na vedação da obra. Desmobilização de máquinas e equipamentos, limpezas gerais e desmonte de materiais do canteiro de obras.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A Estrutura Analítica do Projeto (EAP) foi desenvolvida com base na simulação apresentada na planta baixa (Figura 23). Seu objetivo é decompor o projeto em pacotes de serviços abrangentes, cobrindo todas as atividades essenciais para uma execução qualificada e gestão eficiente, visando a produtividade e a eliminação de perdas ou desperdícios. Para tanto, elaborou-se uma lista unitária de pacotes de serviços, composta por itens com descrições detalhadas que englobam, exaustivamente, os subprocessos construtivos.

O princípio do planejamento, programação e controle da obra exige uma descrição minuciosa das etapas sucessivas na estruturação da LOB, com a finalidade de facilitar a leitura, interpretação e execução. Todavia, segundo Mattos (2010), deve ponderar-se a hipótese, que uma decomposição excessiva do projeto pode resultar numa rede de controle morosa e de alto custo. Sendo assim, na subdivisão dos pacotes considerou-se o planejamento de médio e curto prazo, os quais constituem o escopo principal do presente trabalho.

3.4.5 Definição das Precedências

A elaboração da rede de precedências, fundamenta-se em informações obtidas por compartilhamento de experiências dos profissionais envolvidos, análise de históricos de obras e da memória técnica da empresa. Este arquivo de dados técnicos reúne métodos e metodologias construtivas validadas por estudo e execução previa.

O tipo de precedência mais utilizado, neste caso, é o Término-Início (TI), adequado para situações de dependência lógica direta, como a cura do concreto antes da desforma ou o início das atividades em uma nova frente de trabalho. Em situações específicas, para otimização do cronograma, podem ser adotadas relações de Início-Início (II) ou Término-Término (TT), com utilização de tempos de espera (lag) ou antecipação (lead) entre as atividades predecessoras e sucessoras, visando a compatibilização física e a continuidade produtiva. As relações de precedência adotadas estão detalhadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Relações de precedência

RELAÇÕES DE PRECEDENCIAS	
PACOTES	PRECEDÊNCIAS
1 Serviços Preliminares	
2 Estruturas em Concreto Armado	Serviços Preliminares
3 Lajes	Estruturas em Concreto Armado
4 Alvenarias de Vedação	Lajes
5 Instalações de Redes Técnicas	Alvenaria de Vedação
6 Revestimentos	Instalações de Redes Técnicas
7 Preparação de Bases	Revestimentos
8 Forros e Esquadrias	Preparação de Bases
9 Pinturas	Forros e Esquadrias
10 Limpezas e Desmobilização	Pinturas
	Limpezas e Desmobilização

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

4 RESULTADOS E DISCUÇÕES

A aplicação da técnica da Linha de Balanço otimiza a programação e o sequenciamento dos fluxos de trabalho, permitindo uma visualização gráfica clara do andamento da obra (espaço-tempo). Sua representação facilita a detecção de conflitos, desbalanceamentos de recursos e gargalos, proporcionando avaliações mais objetivas e controle em tempo real durante a produção. A consulta à LdB gera dados essenciais para o planejamento de longo e curto prazo, garantindo ritmo contínuo das atividades.

Quando integrada aos conceitos e metodologias *Lean Construction*, a LdB potencializa a eficiência da produção, resulta em fluxos contínuos e reduz ociosidades. Esse conjunto de práticas elimina desperdícios – como movimentação desnecessária, estoque excessivo e refugo – otimizando produtividade, promovendo um canteiro mais sustentável e direcionando os esforços para a criação de valor ao cliente final.

4.1 Determinação das Quantidades

Para a elaboração do cronograma físico da obra, é fundamental o estabelecimento das durações das atividades, o que demanda o estudo e a definição do Índice de Produtividade (IP) de cada equipe. Embora empresas do setor frequentemente utilizem histórico de dados próprios para garantir maior confiabilidade no planejamento, a ausência de dados reais específicos exigiu, neste caso, a consulta a publicações de referência técnica.

Assim, a quantificação dos pacotes de serviços baseou-se em unidades de repetição (apartamento-tipo), sendo os quantitativos levantados via plataforma AutoCAD e organizados em planilha eletrônica (Excel). Para a definição das constantes de produtividade e consumo de recursos, adotaram-se as referências da Tabela de Composição e Preços para Orçamento (TCPO) – 13ª edição, conforme Mattos (2010).

A Tabela 5 apresenta os índices de produtividade adotados, a razão unitária de produção (RUP), bem como o cálculo do esforço total necessário, em Homens-Hora (Hh). Esses dados serviram de base para o dimensionamento das equipes e definições dos prazos de execução referentes às oito unidades base de repetição.

Tabela 5 – Cálculo de índices de Produtividade (Hh/Apto)

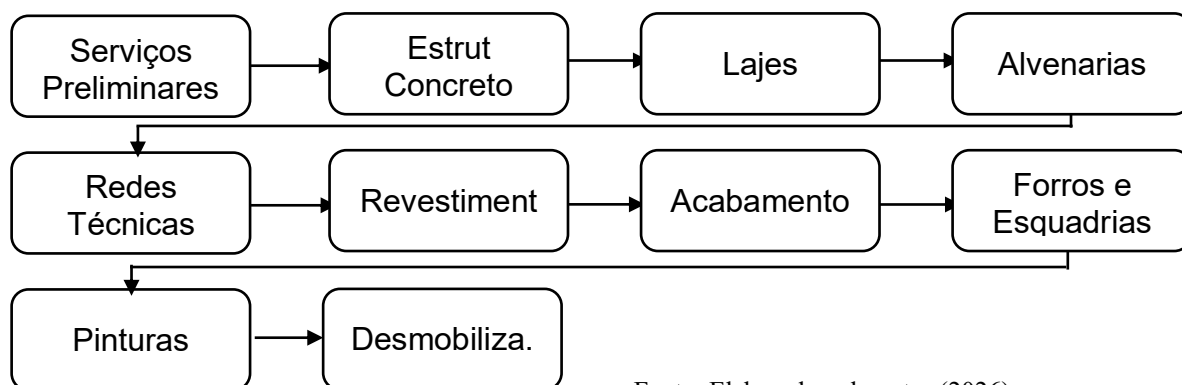
CAP	PACOTES DE ATIVIDADES	Quant	Un	Hh/m²	Qtde. Serv. (Hh/apto)	Total CAP Hh/apto
1.0	SERVIÇOS PRELIMINARES					
1.1	Limpeza e desmatamento de toda a área, incluindo transporte a vazadouro de produtos sobranes	285	m²	0,80	228	
1.2	Execução e ligação à rede pública de tomada de água e energia elétrica, para alimentação em obra.	1	Vg		9	
1.3	Execução de tapume de vedação da obra, com placas ondulada metálica, incluindo prumos de fixação e amarração	150	ml	0,75	113	350
2.0	ESTR. CONCRETO ARMADO					
2.1	Montagem e escoramento de formas, incluindo fixação e amarração em vigas, pilares, vãos de escadas e áreas comuns interiores.	300	m²	1,75	525	
2.2	Fornecimento, montagem e amarração de armaduras em aço CA-50 e malha eletrossoldada, em pilares, vigas, escadas, lajes, varandas e acessos, incluindo áreas comuns internas	3750	Kg	0,2	750	
2.3	Fornecimento e aplicação de concreto, incluindo regularização, adensamento e todos os trabalhos necessários à boa execução e acabamento, em pilares, vigas, vãos de escadas, acessos e varandas.	42	m³	1,8	75	1350
3.0	LAJES					
3.1	Montagem e escoramento de formas, incluindo sua fixação e amarração em todo o perímetro da laje, shafs e restantes elementos.	250	m²	1,8	450	
3.2	Fornecimento, fixação e amarração de armaduras em aço CA-50 e malha eletrossoldada em laje, varandas, acessos e áreas comuns.	3500	Kg	0,2	700	
3.3	Fornecimento e aplicação de concreto em lajes e varandas.	27	m³	1,85	50	1200

4.0	ALVENARIA DE VEDAÇÃO					
4.1	Fornecimento e execução de paredes de vedação exteriores, em tijolo cerâmico, 14x19x29 cm, incluindo todos os trabalhos necessários à execução, conforme lista de trabalhos e caderno de encargos.	240	m²	1,5	360	
4.2	Idem em paredes e divisórias interiores, em tijolo cerâmico 09x19x29 cm.	150	m²	1,6	240	
5.0	INSTALAÇÕES SANITÁRIAS					
5.1	Execução de roços para instalação preliminar de rede de abastecimento de água, rede de esgotos e águas negras, rede elétrica de iluminação, aterramento e força, conforme caderno de encargos e peças desenhadas.	1	Vg		145	
5.2	Instalação de tubagens e acessórios, incluindo ensaios de estanqueidade, instalações definitivas de todas as redes técnicas de acordo com projeto, peças desenhadas e escritas	1	Vg		155	300
6.0	REVESTIMENTOS					
6.1	Execução de revestimentos em paredes externas, incluindo impermeabilização e tratamento de fachadas, chapisco, emboço quando necessário e rebocos em áreas de acabamento a pintura e revestimentos cerâmicos.	120	m²	1,1	132	
6.2	Execução de revestimentos em paredes internas, incluindo impermeabilização e assentamento de cerâmicos em áreas molhadas, cozinhas e banheiros	98	m²	1,2	118	
6.3	Fornecimento e assentamento de cerâmicos no interior dos apartamentos, em áreas definidas como salas de estar e jantar.	35	m²	1,25	44	
6.4	Fornecimento e assentamento de pedra granito em revestimento halls de entrada, escadas, entradas de apartamentos, cozinhas e banheiros.	42	m²	1,5	63	

6.5	Fornecimento e assentamento de pisos vinílicos em quartos, conforme especificado em caderno de encargos	28	m ²	0,5	14	580
7.0	ACABAMENTOS					
7.1	Trabalhos de preparação e emboço das paredes internas e preparação para receber pinturas, incluindo emassamento e lixamento.	120	m ²	1,45	174	
7.2	Acabamento em esquadrias, montagem de alisares, retoques finais em áreas a pintar incluindo proteção de pares e outras áreas que recebem pinturas ou vernizes.	90	m ²	1,15	106	280
8.0	FORROS E ESQUADRIAS					
8.1	Fornecimento e assentamento de portas e janelas, esquadrias e respectivas guarnições, incluindo portas corta-fogo e restantes acessórios.	6	Un	4,2	25	
		5	Un	4,2	21	
		2	Un	25	50	
8.2	Execução de forros incluindo todos os trabalhos necessários ao bom acabamento	102	m ²	1,65	168	265
9.0	PINTURAS					
9.1	Preparação de bases das paredes e aplicação de fundo reparador ou selador e aplicação de tintas conforme designado em projeto, incluindo vernizes em portas e janelas, pinturas em fachadas internas e externas	220	m ²	1,77	390	390
10	LIMPEZAS/DESMOBILIZAÇÃO					
10.1	Limpezas gerais, ensaios finais e desmobilização do canteiro de obras	1	Vg		220	220

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Após a definição da ordem de execução, realizou-se o planeamento e a programação dos pacotes de trabalho integrantes da Linha de Balanço. Com base nos dados da Tabela 6 – que engloba a quantificação de atividades, unidades de medição, índices de produtividade e consumo de energia por pacote – quantificou-se o esforço Homens-hora (Hh) por apartamento (Tabela 5) e definiu-se o dimensionamento das equipes básicas para a execução do empreendimento. Na continuidade e seguindo a sequência lógica dos pacotes de serviços apresentada na Figura 25, procedeu-se ao cálculo da duração das atividades.

Figura 25 - Sequência dos pacotes de serviços

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

4.2 Determinação das Equipes

Partindo dos quantitativos e índices de produtividade definidos (Tabela 5), procedeu-se ao dimensionamento da equipe básica de operários para cada pacote de serviços, resultando na composição apresentada na Tabela 6. Essas equipes devem ser formadas por profissionais qualificados, como: pedreiros, carpinteiros, armadores de ferro, eletricitas, canalizadores, operadores, etc, de acordo as competências exigíveis a cada atividade.

Tabela 6– Dimensionamento e Composição de Equipes

ATIVIDADES	Hh / APARTAMENTO	EQUIPE BÁSICA (operários)
Serviços Preliminares	350	3
Estrut. Concreto Armado	1350	9
Lajes	1200	9
Alvenaria de Vedação	600	5
Instalações Redes Técnicas	300	3
Revestimentos	580	5
Preparação de bases	280	3
Forros e Esquadrias	265	3
Pinturas	390	3
Limpezas /Desmobilização	220	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

4.3 Duração das Atividades

Os dados constituintes da Tabela 7 foram obtidos por consulta a Mattos (2010), considerando um período de trabalho diário de 8 horas, 5 dias por semana e ritmo de entrega de **0,25 apartamento/semana**. Esse valor refere-se a cada atividade pertencente à unidade de repetição (apartamento), incluindo o ciclo de produção, constituído por 10 pacotes de serviços, conforme, Tabela 4.

Após o dimensionamento e atribuição dos pacotes de serviços às respectivas equipes, a quantificação do esforço de serviço em Homem-hora (Hh), a definição do tamanho das equipes e a carga horária de trabalho (horas/dia), considerando-se as atividades repetitivas como as iniciadas pelo pacote de serviços, denominado “**Estruturas em Concreto Armado**”. Assim foi possível determinar o tempo de ciclo de cada pacote de serviços utilizando as seguintes equações:

Onde;

- E_c – Equipe calculada;
- R_c – Produção semanal corrigida
- t – Duração da atividade em cada apartamento;
- T – Tempo decorrido entre o início da atividade no 1º apartamento e o início no ultimo apartamento;
- $E_c = \frac{Hh/apart \times 0,25 \text{ apart/semana}}{40h/semana/operário}$; $E_c = \frac{1350 \times 0,25}{40} = 8,44$ operários.

Arredondando para 9 operários, a produção semanal corrigida será:

- $R_c = 0,25 \text{ apart/semana} \times (9/8,44) = 0,27 \text{ apart/semana}$.

A duração (t) da atividade, “**estruturas de concreto armado**”, proporcional a cada apartamento, é dada por:

- $t = \frac{1350 \text{ Hh/apart}}{9 \text{ operários/apart} \times 8h/dia/operário} = 18,75 \text{ dias. (19 dias)}$

O tempo (T) decorrido entre o início das atividades, proporcionais ao 1º apartamento e o início das atividades no 8º apartamento é:

- $T = \frac{(8-1) \text{ apart} \times 5 \text{ dias/semana}}{0,27 \text{ apart/semana}} = 129,6 \text{ dias (130 dias)}$

Com base nas equações acima e nas tabelas 5 e 6, determinou-se o tempo de ciclo dos diversos pacotes de serviços que compõem o dimensionamento e programação constante da linha de balanço e referente ao projeto em estudo, bem como, na Tabela 7, figura a duração diária por apartamento de cada pacote de serviços.

Tabela 7 – Tempo de ciclo dos pacotes de atividades.

ATIVIDADES	DURAÇÃO (dias / apart)	EQUIPE BÁSICA (operários)
Serviços preliminares	15	3
Estrut. concreto armado	19	9
Lajes	17	9
Alvenaria de Vedação	15	5
Instalações Redes Técnicas	13	3
Revestimentos	15	5
Preparação /Acabamentos	12	3
Forros e Esquadrias	11	3
Pinturas	16	3
Desmobilização	18	2

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Diante do exposto, a equipe de base dimensionada para a execução das estruturas de concreto armado é composta por 9 operários, resultando em uma duração de 19 dias por unidade de repetição. A aplicação sucessiva deste raciocínio e a realização dos cálculos mostrados no item 4.3 deste capítulo aos restantes pacotes de atividades deram origem à Tabela 8.

Esta tabela reúne os 10 pacotes de atividades principais e necessárias para a execução da obra, divididas pelos oito apartamentos. Cada coluna mostra as quantidades de recursos humanos calculadas e necessárias, tais como: esforço (Hh/apto) em homens/hora; equipe adotada (funcionários necessários à atividade); duração em dias da atividade por apartamento; e a duração em dias desde o início dos trabalhos no 1º apto até ao início dos trabalhos no 8º apto.

Tabela 8 – Cálculo da linha de balanço

Atividade	Hh/apto	Equipe básica (operários)	Equipe calculada (operários)	Equipe adotada (operários)	Ritmo Produção Corrigido	Tempo por apto (dias)	Início 1° / início do 8° (dias)
Serv. Prelim.	350	3	2,19	3	0,34	14,58	102,9
Estr. Conc. Arm.	1350	9	8,44	9	0,27	18,8	129,6
Lajes	1200	9	7,5	8	0,27	16,7	129,6
Alven. Ved..	600	5	3,8	4	0,27	15	129,6
Inst. Red, Técn.	300	3	1,88	2	0,27	12,5	129,6
Revest	580	5	3,65	4	0,28	14,5	125
Prep. Bases	280	3	1,78	2	0,29	11,7	120,7
Forros /Esq.	265	3	1,7	2	0,30	11	116,7
Pinturas	390	3	2,45	3	0,31	16,25	112,9
Limp. Desmb.	220	3	1,38	2	0,36	9,17	98

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Após a definição da duração das atividades, com os tempos calculados e ajustados para cada unidade básica, estabeleceram-se as datas de início e término (dias úteis) de cada pacote de serviços. Em posse dos dados obtidos, foi possível determinar as atividades subsequentes, vinculando-as por relações lógicas de precedência (início-início ou término-início). No desenvolvimento do cronograma, foram integrados *buffers* (folgas estratégicas) de tempo, previstos na pré-programação: 30 dias entre serviços preliminares e estruturas de concreto armado; 5 dias entre pacotes de serviços subsequentes; e 15 dias entre as atividades de pintura e a desmobilização do canteiro. A Tabela 9 ilustra o sequenciamento, contendo as datas de início e fim, bem como a distribuição dos *buffers*. (Nota: as datas são sempre referenciadas ao dia zero início da obra).

Tabela 9 – Duração e intervalos das atividades

<i>ATIVIDADES</i>	<i>BUFFERS (dias)</i>	<i>ÍNICIO (dias)</i>	<i>FIM (dias)</i>
Serviços Preliminares	-	0	118
Estruturas concreto armado	30	45	194
Laje	5	69	216
Alvenaria de vedação	5	91	236
Instalações redes técnicas	5	111	253
Revestimentos	5	129	268
Preparação de bases	5	148	281
Forros e esquadrias	5	165	293
Pinturas	5	181	310
Limpezas e desmobilização	15	212	320

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

4.4 Balanceamento das Atividades

A construção do edifício habitacional em estudo, composta por múltiplos pavimentos-tipo, apresenta a característica das atividades repetitivas, o que frequentemente induz o planejamento a assumir ritmos uniformes (paralelos) para todas as frentes de serviço. No entanto, tal homogeneização pode se tornar ineficiente, pois desconsidera a variabilidade inerente aos tempos de execução, tornando algumas etapas lentas e outras rápidas demais, inviabilizando o dimensionamento adequado da mão de obra.

Para superar esse desafio, adotou-se o método da Linha de Balanço, focado no balanceamento das operações. Segundo Mattos (2010), essa abordagem consiste em ajustar o ritmo de cada serviço com equipes otimizadas, definindo a inclinação ideal da linha de produção para garantir um fluxo contínuo e evitar ociosidade ou gargalos.

Neste cenário, definiu-se um ciclo de produção padrão de quatro semanas por apartamento para os serviços principais. Para serviços com taxas de produção distintas (mais céleres ou mais lentas), aplicaram-se ajustes de balanceamento para viabilizar a execução.

Para a programação e o dimensionamento da Linha de Balanço, foram elaborados três modelos de planejamento e gestão: um analítico e dois gráficos (cronograma de barras horizontal e cronograma de barras inclinadas). Assim, para o controle e orientação das equipes executoras, apresentam-se o (**Apêndice A**), onde figuram os dados analíticos de forma ordenada – incluindo informações essenciais como tempo de início e fim dos serviços em cada apartamento – e os (**Apêndices B e C**), com os cronogramas da LOB em barras horizontais e inclinadas, respectivamente.

Conforme ilustrado, o cronograma é iniciado pelos Serviços Preliminares, com duração de 118 dias úteis. Como esta atividade inicial prepara o local para as sucessoras, calculou-se um intervalo de 30 dias úteis (buffer) para o início do fluxo das atividades repetitivas, começando pela Estrutura de Concreto Armado. Foram previstos *buffers* de segurança de 5 dias úteis entre serviços consecutivos e um pulmão de 15 dias úteis entre a penúltima atividade e a desmobilização (pinturas finais). Este intervalo final foi necessário pois a limpeza representa um ritmo de produção mais rápido que as pinturas, evitando assim a intercepção das atividades.

O planejamento e balanceamento das frentes de trabalho foram baseados em um ritmo de produção de 0,25 apartamentos/semana (equivalente a 4 semanas por unidade), considerando jornada de 5 dias úteis por semana e 8 horas diárias, resultando em um prazo total de execução de 320 dias uteis.

4.5 Ritmo e Duração das Atividades

Assumindo a constância do tempo de ciclo (T_c) entre as unidades base, a duração total das unidades (D_{total}) é definida pelo produto entre (T_c) e o número de unidades de repetição (Nu). O ritmo de produção (R_p), expresso em apartamentos /dia, é determinado pelo quociente entre as unidades base de repetição (oito) e a duração de total de cada unidade. A Tabela 10 detalha a duração total e o respectivo ritmo das atividades.

Tabela 10 – Cálculo e duração do ritmo das atividades

PACOTES	Duração (dias)	Ritmo (apart/dia)
Serviços Preliminares	118	0,068
Estruturas concreto armado	149	0,054
Lajes	147	0,054
Alvenaria de vedação	145	0,055
Instalações Redes Técnicas	143	0,056
Revestimentos	140	0,057
Preparação de Bases	133	0,06
Forros e Esquadrias	128	0,063
Pinturas	129	0,062
Limpezas Desmobilização	108	0,074

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

De acordo com a tabela, verifica-se que os pacotes de serviços mostram ritmos com pequenas variações, isto é, entre 0,054 e 0,074 apartamentos/dia, onde, as atividades estruturais apresentam ritmos mais lentos, apesar de maiores consumos de energia (Hh/apartamento) 1350 e 1200 para “Estruturas de Concreto Armado” e lajes versus “Limpezas e Desmobilização” com ritmo mais rápido (0,074) e com consumo de energia de 220 Hh.

4.6 Prazos de Execução da Obra

Com base nos dados obtidos preliminarmente e considerando uma data hipotética de início da obra em 04 de maio de 2026, foi elaborado o cronograma executivo. O planejamento considerou dias úteis, tempos de ciclo por pacote de trabalho e os intervalos de segurança (*buffers*) previstos, resultando nos dados consolidados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Início e término dos pacotes de atividades.

PACOTES	ÍNICIO	FIM
Serviços Preliminares	04/05/2026	19/10/2026
Estruturas de concreto armado	06/07/2026	08/02/2027
Lajes	07/08/2026	10/03/2027
Alvenaria de vedação	09/09/2026	08/04/2027
Instalações Redes Técnicas	07/10/2026	05/05/2027
Revestimentos	04/11/2026	25/05/2027
Preparação de Bases	02/12/2026	11/06/2027
Forros e Esquadrias	28/12/2026	29/06/2027
Pinturas	20/01/2027	22/07/2027
Limpezas e Desmobilização	04/03/2027	05/08/2027

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

4.7 Determinação de equipes.

O dimensionamento da mão de obra por pacotes de atividades (formação de equipes) foi definido com base na compatibilização entre os quantitativos de serviços, o cronograma físico-financeiro e os coeficientes de produtividade adotados.

Os índices de produtividade foram estabelecidos por consulta a publicações especializadas, tais como SINAP (Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil), TCPO (Tabela de Composição de Preços para Orçamentos – Editora PINI) e Mattos (2010), além de referências de mercado para validação.

A quantidade de equipes foi determinada pelo produto da demanda de produção diária (ritmo) pela duração da atividade. Adotou-se, preliminarmente, a estratégia de alocação de equipes únicas por pacote de serviços para a otimização dos recursos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da Linha de Balanço (LOB) em conjunto com os princípios da *Lean Construction* demonstra ser uma estratégia eficaz para o planejamento e controle da produção em obras do setor de construção civil, o que é corroborado pelo estudo de caso deste trabalho de âmbito acadêmico.

Quanto às ferramentas de gestão, o ciclo PDCA constitui um excelente auxílio numa gestão sistemática: a fase “Planejar” (Plan) integra a LOB, a fase “Fazer” (Do) permite o monitoramento semanal; e as etapas de “Verificar” (Check) e “Agir” (Act) viabilizam correções simultâneas em desvios de ritmo entre pavimentos. A aplicação conjunta destas técnicas resulta no aumento da produtividade das equipes e elevação da confiabilidade dos prazos.

Entretanto, observa-se que parcela significativa do setor construtivo ainda opera segundo metodologias tradicionais baseadas em gestão informal, resultando em baixa produtividade, desperdícios de matérias e desvios de prazos e custos. Este trabalho reforça a afirmativa que o planejamento estruturado é imperativo para a melhoria da qualidade e da produtividade. O estudo de caso demonstrou que a aplicação da Linha de Balanço, sob a forma de simulação, é uma ferramenta robusta, oferecendo vantagens estratégicas em relação aos métodos tradicionais, especialmente em obras de natureza repetitiva. Por fim, conclui-se que a integração entre Planejamento e Controle da Produção (PCP), alinhada à filosofia *Lean*, fornece previsibilidade à execução, sendo essencial para otimizar o fluxo contínuo das atividades.

Além disso, a pesquisa destaca que a digitalização do planejamento – integrante da Construção 4.0 – potencializa a Linha de Balanço, permitindo o replanejamento automático e o acompanhamento de custos em tempo real por meio de softwares específicos. A aplicabilidade dessas técnicas não se restringe a grandes construtoras; estudos demonstram que, em obras de pequeno e médio porte, a adoção da filosofia Lean e da gestão visual proporciona aumento expressivo na eficiência operacional, redução de custos e diminuição de desperdícios de materiais. Portanto, a modernização da gestão, unindo a LOB com ferramentas digitais, surge como uma alternativa viável e necessária para a profissionalização de construtoras de menor escala.

Em suma, o trabalho conclui que a superação das limitações tradicionais da construção civil exige uma mudança cultural em direção ao planejamento colaborativo e à tecnologia. A integração entre *Lean Construction* e tecnologias 4.0 oferece, assim, um roteiro robusto para aumentar a competitividade, a confiabilidade de prazos e a sustentabilidade das operações no canteiro de obras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ABDELMEGIG, M., et al. (2023). “Simulation Modeling”, *Lean Construction Journal*. (Foca no uso de simulação para contornar problemas lineares).

AEVO. **Central de Iniciativas: Tudo sobre o nosso módulo de projetos de inovação.** 2024. Disponível em: <https://aevo.zendesk.com/hc/pt-br/categories/21008361285012-Central-de-Iniciativas>. Acesso em 25mar.2026.

AMARO, L. C.; LANTELME, E. M. V. Análise da colaboração no planejamento: estudo de caso em uma obra da construção civil. In: *SIMPOSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO (SIBRAGEC)*, 2021.

AEVO. **Business Intelligence: Tudo o que você precisa saber!** 31 mar. 2021. Blog AEVO. Disponível em: <https://blog.aevo.com.br/business-intelligence/>. Acesso em: 19 mar.2026.

ALAWAG, A. M.; ALQAHTANI, F. K.; ALALOUL, W. S.; LIEW, M. S.; BAARIMAH, A. O.; ALMEKHLAFI, A. B. A.; SHERIF, M. A. Developing Framework for Implementing Total Quality Management (TQM) in Sustainable Industrialized Building System (IBS) in Construction Projects. *Sustenability*, v. 16, n. 23, 10399, 2024. DOI: 10.3390/su162310399.

ALVES DE OLIVEIRA. **Planejamento e Controle de Produção com Linha de Balanço: Conceitos, Equações e Análise Visual.** [Editora/Revista], 2025.

ALVAREZ, Rafael de Sousa Leal Martins; HEINECK, Luís Fernando Mahlmann. *Linha de balanço: síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras?* Fortaleza UFC, 2021.

ALLSTRATEGY. **Planejamento estratégico, tático e operacional: o que é e como aplicar.** São Paulo: AllStrategy, 30 maio 2025. Disponível em: <https://www.allstrategy.com.br/planejamento-estrategico-tatico-operacional/>. Acesso em : 07 abr.2026.

ALLSTRATEGY. Planejamento estratégico, tático e operacional: saiba as diferenças. AllStrategy Blog, 30 maio 2025. Disponível em: <https://www.allstrategy.com.br/planejamento-estrategico-tatico-operacional/>.

ALVES NETO, José Antônio; SOUZA NETO, Antônio Machado de; DINIZ, Herder Henrique Lima. **Aplicação do PDCA no processo de transferência de mercadoria no setor logístico.** In: ANAIS XII SIMEP, 2024. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/43492>. Acesso em 15 mar.2026.

AMARAL, T. G; ROMAN, H. R.; HEINECK, L. F. M. Introdução aos conceitos Lean – Visão geral do assunto. Fortaleza: Expressão Gráfica Editora, 2009.

ANTAC. **Anais do XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2022)**. Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac>. Acesso em 20 fev 2026.

ARAÚJO, N. M. C.; R. O papel do planejamento, interligado a um controle gerencial nas pequenas empresas de construção civil. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP – Gramado, Rs, 1997.

ARDITI, David; TOKDEMIR, Onur B.; SUH, Kangsuk, Chalienges in line-of-balance scheduling Construction Engineeering and Management, pp 545 – 556, nov/dez 2002.

ARDITI, D.; ALBULAK, M. Considerações analíticas sobre o fluxo de equipes de produção (estudos correlatos a Line of Balance Scheduling), 2021-2022.

ARMAC. **Controle financeiro de obras: 6 dicas para a eficiência**. Blog Armac, 2020. Disponivel em: <https://armac.com.br/blog/engenharia/controle-financeiro-de-obras/>. Acesso em 23 abr 2026.

ARTIA. Gráfico de Gantt: o que é, como funciona e benefícios. 27 nov. 2023. Disponível em: <https://artia.com/blog/grafico-de-gantt/>. Acesso em 22 mar.2026.

AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY (ASQ). **PDCA Cycle: What is the Plan-Do-Check-Act Cycle?** ASQ Quality Resources, 2024. Disponível em: <https://asq.org/quality-resources/pdca-cycle>. Acesso em 24 mar. 2026.

AZIZ, R. F., & Hafez, S.M. (2013). Lean construction as a technique for improving construction project performance. *Journal of Engineering and Applied Science*. (Aborda a melhoria de desempenho na Construção).

BAJJOU, Mohamed Saad; CHAFI, Abdessamad. Lean construction and simulation for performance improvement: a case study of reinforcement process. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 70, n. 2, p. 459 – 487, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2019-0309>.

BALLARD, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. PhD Thesis, University of Birmingham. (Reforça o controle de ritmo e gargalos).

BARBOSA, A. S.; Implantação de planejamento e programação de obra. Estudo de caso: obra do PAR com 378 casas utilizando a técnica de Linha de Balanço. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

BITRIX24. Gráfico de Gantt: Soluções inteligentes para problemas na gestão de projetos. 2024. Disponível em: <https://www.bitrix24.com.br/articles/gantt-solucoes-inteligentes-para-problemas-na-gestao-de-projetos.php>. Acesso em 22 mar. 2026.

BEZERRA, Pedro Igor; BATISTA. Gestão de equipes de projetos de engenharia em organização de estrutura matricial. *Revista de Gestão e Projetos (GEP)*, v. 14, n. 1, p. 66-95, 2023/2024.

BEZERRA. Planejamento na Construção Civil: panorama brasileiro e adoção de novas tecnologias. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 20., 2024, Maceió. Anais...Maceió: ANTAC, 2024.

BORGES, M. L. C. A aplicação da filosofia Lean Construction em empresas baianas: um estudo comparativo com o cenário brasileiro. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/25940>. Acesso em 09 de nov. 2024.

BULHÕES, I.R.; FORMOSO, C. T.; AVELLAN, T. V. Gestão dos fluxos e sua integração com o planejamento e controle da produção: caso de uma empresa de Salvador – Baía. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, SIBRAGEC, 3., 2003, São Carlos. Anais.... São Carlos, 2003.

BUSINESSMAP, **What Is Value? A Practical Guide**. Sofia, Bulgária: Businessmap, 2024. Disponível em: <https://Businessmap.io/lean-management/value-waste/what-is-value-lean>.

CALAMPA, C. A. G. Linha de balanço: *aplicações e seus prós e contras para a construção civil*. Boletim do Gerenciamento, NPPG, 2024.

CAMARGO, Robson. Gerenciamento do cronograma: ferramenta essencial para a sua obra. [S.I.; s. n.], 2020. Disponível em: <https://robsoncamargo.com.br/blog/Gerenciamento-do-cronograma>. Acesso em 23 fev. 2026.

CAMPOS, V. R.; Azevedo, M. F. (2016). *Análise da distribuição de equipes de trabalho na construção: um estudo de caso utilizando a Linha de Balanço*. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 339-351. (Baseado em Azevedo, 2013).

CANVA. Crie e gerencie diagramas de Gantt no Canva Whiteboards. 2024. Disponível em: https://www.canva.com/pt_br/help/create-gantt-charts-in-whiteboards/. Acesso em 23 mar. 2026.

CARDOSO, Wagner. *Planejamento e controle da produção (PCP): a teoria na prática*. São Paulo; Blucher, 2021.

CARVALHO, Marly Monteiro de; PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus, 2008.

CBIC – CAMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO; FGV – FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Gestão Lean na Construção: melhoria contínua, variabilidade e transparência dos fluxos físicos**. Brasília: CBIC, 2024. Disponível em: cbic.org.br.

COSTA, D. B.; SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. A importância do projeto do sistema de produção em empreendimentos habitacionais de interesse social. In: ENCONTRO

NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 10.; São Paulo, Anais.... São Paulo, 2004.

DE SOUZA, A. L.; GALDAMEZ, E. V. C. Avaliação dos princípios do lean construction em um canteiro de obras. Trabalho de conclusão de curso do DEP, v. 9, n. 1, 2013. Disponível em: <https://moblean.com.br/wp-content/upload/201412/Adnilson-TG-EP-02-13-pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

DEMING, W. Edwards, *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1986.

ESTENDER, Antônio Carlos; SEQUEIRA, Gisela Romaniz; SIQUEIRA, Nilza Aparecida; CANDIDO, Guilherme Junqueira. A importância do Planejamento e Controle de Produção. Anais do VI SINGEP – São Paulo Brasil 2017. www.singep.org.br.

FAGHIHI, V. et al. Industrialization of Construction: Balancing Prefabrication and On-site Assembly for Improved Productivity. *Automation in Construction*, v. 158, 105234, 2024.

FALCONI, Lean Construction para Resultados. São Paulo: Editora Falconi, 2025. E-book. Disponível em: <https://www.editorafalconi.com/>. Acesso em 15 mar.2026.

FERREIRA, M. B. da S. **A linha de balanço como ferramenta de planejamento de longo prazo para uma obra de múltiplos pavimentos de Porto Alegre/RS**. 2011. Monografia (Especialização em Construção Civil – Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS),Porto Alegre,2011.

FRAGA, a. m. Rotatividade de pessoal: um estudo sobre as causas na construção civil. *Revista de Gestão e Projetos*, v. 11, n. 2, p. 45-60, 2020.

FRANDSON, A., Bergfors, M., & Tommelein, I.D. (2013). Takt-time planning: the 30-step process. Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction

FREG, T. A.; ALENCAR, L. H.; Fatores de sucesso no gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil em Recife. Pro Quest Dissertations & Theses. (Número de Acesso pro Quest: 29226208) Recife, 2009. 339p.

FOCO EM OBRA. Como a integração entre planejamento e orçamento melhora a produtividade. 2025. Disponível em: <https://focoenobra.com.br/Acesso> em 16 mar. 2026.

FORMOSO, C. T. Lean Construction – Princípios básicos e exemplos. Apostila sobre Lean Construction – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia – Núcleo. Orientado para a Inovação da Edificação – Porto Alegre, RS,2003.

GALON, A. et al. Gestão de produção e a valorização do planejamento estratégico em pequenas e médias empresas. *Revista Produção Online*, v. 21, n. 3, p. 890-915,2021.

IMAI, Masaaki. Gemba Kaizen: **Uma abordagem de bom senso à estratégia de melhoria contínua**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018.

YIN, R. K. *Estudo de caso: Planejamento e Métodos*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman 2021 (Adaptação para cenários de construção).

HEINECK, L. F. M. (2024). *Using the Line of Balance for producing system design*. Universidade Federal do Ceará.

HENRICH, G. And KOSKELA, L.; 2006. Evolution of Production Management in Construction in the XXI Century; Local and Global Challengers ARTEC, Rome, Italy.

JESUS, S. L. de; SOUSA, P. R. de. *Lean Construction como Ferramenta de Gestão Estratégica: contribuições e desafios*. Fundação Dom Cabral, 2022.

JUNQUEIRA, Luiz Eduardo Lollato et al. *Aplicação da Lean Construction para Redução dos Custos fr Produção da Casa 1.0*. São Paulo, 2006. 146p. Dissertação (Especialização) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção. Orientador: Antônio Sérgio Itri Sugui.

KENLEY, R. and SEPPANEN, O, 2010. Location – Based Management System for Construction Planning and Control. First Edition. Pages (s) 584 Spon New York..

KOSKELA, A. L.; **Application of the New Production Philosophy to Construction**, Tecnhnical Report, Stanford, n. 72, 1992.

KOZARDA. Linha de Balanço: Aplicações e seus prós e contras para a Construção Civil. Boletim do Gerenciamento, [s. I.], 30 set. 2024. Disponível em: <https://nppg.prg.br/revistas/boletimdoGerenciamento/article/view/1288>.

LACERDA, A. P. *Lean Thinking: From the Shop Floor to an Organizational Culture*. 2020. ResearchGate.

LEAN INSTITUTE BRASIL. **Princípios Lean na Construção Civil: foco no fluxo global e redução de desperdícios**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2024. Disponível em: lean.org.br.

LEAN INSTITUTE BRASIL. Lean Thinking: O que é, desafios e como aplicar na sua empresa. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2023. Disponível em: <https://www.lean.org.br/blog/14/0-que-e-o-lean-thinking-veja-desafios-e-saiba-como-integrar-na-sua-empresa>. Acesso em: 22 Fev. 2026.

LIKER, J. K. the Toyota Way: 14 Management Principe from the Word's Greaters Manuufacturer. New – York; MsGraw Hill, 2004.

LOMBARDI, R. B. Planejamento e controle de obras utilizando os conceitos do lean construction:2014.Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/6376/1/20946050.pdf>. Acesso em: 12 de nov.2024.

LOSEKANN, B. A. L. **Line of Balance (LOB) e construção enxuta: automatização e novas tecnologias na gestão de ritmo de produção.** [S.I.; s. n.], 2023.

LUNARDELLI, P. Lean Construction: tudo que você precisa saber. Prevision, 2023. Disponível em: <https://prevision.com.br/blog/lean-construction/> /. Acesso em: 12 de nov. 2024.

LUCKO, G.; ALVES, T. da C. L.; ANGELIM, V. L. Challenges and opportunities for productivity improvement studies in linear, repetitive, and Location-Based. *Constructions Management and Economics*, 2013. DOI: 10. 1080/01446193.2013.845305.

MATTOS, Aldo Dórea, *Planejamento e Controle de Obras*. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MATTOS, Aldo Dórea. *Planejamento e Controle de Obras*, Linha de Balanço. Caminho. Crítico e gargalos. – São Paulo: Pini, 2022.

MAZIERO, Lúcia T. P. Aplicação do método da Linha de balanço no planejamento de obras repetitivas. Um levantamento das decisões fundamentais para sua aplicação. Florianópolis, 1990. Dissertação de Mestrado em Eng. De Produção. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

McKINSEY & Company. Delivering on construction productivity is no longer optional. [S.I]: McKinsey & Company, 2024. Disponível em: <https://www.mckinsey.com.br/capabilities/operations/our-insights/delivering-on-construction-productivity-is-no-longer>. Acesso em: 25 março.2026.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **The Future of Construction: Transforming a Digitally Challenged Sector.** Nova York: McKinsey & Company, 2025. (Adaptado de relatórios de produtividade/retrabalho do setor).

MDPI (2023): *Linear Project-Scheduling Optimization Cinsidering* a...(aborda a otimização de recursos e a importância da continuidade em projetos lineares).

MEDEIROS, I.; SIQUEIRA, R. A.; MIRANDA, D. Aplicação dos Princípios Lean Construction: Um estudo de Caso com a Redução de desperdícios em um Canteiro de Obra. 2023. Disponível em: <https://proceeding.science/science/cics-2023/trabalhos/aplicação-dos-principios-lean-construction-um-estudo-de-caso-com-a-redução-de--de-2>. Acesso em: 09 de nov. 2024.

MENDES, JR, R. Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos. Florianópolis, 1999. 196 f. Tese (doutorado) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, universidade Federal de Santa Catarina.

MENDES JUNIOR, R.; HEINECK, L. F. M. Roteiro para programação de edifícios com Linha de Balanço: Estudos de casos, In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC – Florianópolis, SC, 1998.

METROC. AI. From 2024 to 2025: Key construction Industry Trends to Watch – Modular and Prefabrication Construction [Relatório Técnico]. Disponível em: metroci.ai/en/materials/from-2024-to-2025-Key-construction-industry-trends-to-watch/, 2024.

MONTEIRO, A.; & MARTINS, J. P. (2011). *Linha de Balanço: Uma nova abordagem ao planejamento e controle na construção*. In: 2º Fórum Internacional de Gestão da Construção: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

MOURA, Rafael de Sousa **Leal Martins**; HEINECK, **Luiz Fernando Mahlmann**. Linha de Balanço: síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 2021.

MOURÃO, C. A. M. A.; NETO, J. P. B.; COSTA, J. M. **Desafios da Jornada Lean Construction**. Caminhos para a excelência, p 15-30, Fortaleza, CE, 2025.

MUBARAK, S. *Construction Project Scheduling and Control*, 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

NEW SCIENCE. Lean construction no planejamento e controle de obras em edificações. *Revista Lev* (New Science Publisher), Curitiba, v. 7, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/LEV/article/view/9021>.

NEW SCIENCE. **Linha de Balanço (Line of Balance-LOB)**: Planejamento de tarefas repetitivas e Lean Construction. *New Science Publisher*, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/>. Acesso em 23 fev. 2026.

OLIVEIRA, S. I. et al, A implementação de sistemas de PCP e a competitividade organizacional na era digital. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, v. 10, n. 4, p. 112-130, 2020.

OLIVEIRA, L.M. Importância do cronograma físico-financeiro em pequenas construções. *TCC – Universidade Federal do Ceará (UFC)*, 2025. (Foco na integração físico-financeira).

OLIVEIRA, Yasser Atila Melo da Silva. Método de Análise e Soluções de Problemas (MASP): estudo de caso para solução de problemas de divergência de estoque em uma empresa de sinalização. Repositório IFAM, 2024. Disponível em:

https://repositorio.ifam.edu.br/jspui/bitstream/4321/1513/1/M%C3%A9todo%20de%20an%C3%A1lise%20e%20solu%C3%A7%C3%A3o%20de%20problemas%20%28MASP%29_Oliveira_2024.pdf. Acesso em 08 abr.2026.

OLIVIERI, M.; SEPPANEN, O.; PELTONEN, K.; LIIKKANEN, M. A survey comparing Critical Path Method, Last Planner System, and Location-Based Techniques. *Journal of Construction Engineering and Management* (ou publicação em conferências IGLC).

PACHECO, M. T. G. *Redução do tempo de atravessamento através da redução do tempo de ciclo em programação por linha de balanço mediante a escolha da unidade de repetição sobre influência do efeito aprendido: uma visão enxuta* Dissertação: Mestrado em Engenharia Civil (Construção Civil) UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 94p.

PÉRICAS, F. R. A. (2023). *Linha de Balanceamento como potencializadora da implantação dos princípios da Lean Construction*. Repositório UFSC

PICCHI, F. A. Sistemas da Qualidade: uso em empresas de construção de edifícios. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PINTO, J. S.; SILVA, R. M.; SANTOS, A. C. Gestão e Gerenciamento na Construção Civil Integração entre Planejamento e Execução. *Revista Gestão & Gerenciamento*, NPPG, 2021.

PINTO, I. F.; et al. **Gestão e Planejamento de Obras**. Revista IBRACON. 2021.

PLANYWAY. **What is a Gantt chart? Definition, Benefits, Examples**. [S.I.], 14 jun.2024. Disponível em: <https://planyway.com/blog/gantt-chart-definition>. Acesso 26 mar. 2026.

PREVISION. *Linha de Balanço: como otimizar o planejamento da obra?* [S.I]: Prevision – Ecossistema Sienge, 2025. Disponível em: <https://www.senior.com.br/blog/linha-de-balanço>. Acesso em 08 abr. 2026.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)**. 6th ed. Pennsylvania: PMI, 2017.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)** – Seventh Edition and The Standard for Project Management. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2021.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)** – Fourth Edition. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2008.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Process Groups: A Practice Guide** Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2024. Disponível em: <https://www.pmi.org/standards/process-groups>.

PREVISION, [Webinar]. Acelere suas obras com a Linha de Balanço na prática. 2021. Disponível em: Youtube/Prevision. Acesso em : 26 abr. 2026.

RATNAYAKE, A. D., Murguia, D., & Middleton, C. (2023). *Analyzing the Impact of Construction Flow on Productivity*. Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31), 1510-1521, <https://doi/10.24928/2023/0172>.

RESEARCHGATE. LOB and CPM Integrated Method for Scheduling Repetitive Projects. [S.I]: ResearchGate, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276078468_LOB_and_CPM_Integrated-Method-for-Scheduling_Repetitive_Projects. Acesso em 9 abr.2026.

REDAÇÃO REVISTA FT. Lean Construction e o aumento da produtividade no canteiro de obras. **Revista FT, 2024.**

Revista FT – VILELA, João Filipe Facco; MALAQUIAS, Claudia Aline Franco; SILVA, Jéssica Franciele dos Santos da; ANJOS, Alexandre Pitta dos. Lean Construction: Proposta para Redução de desperdícios na Construção Civil – Revisão Bibliográfica. Revista FT, 2024. Disponível em: <https://revista.com.br/lean-construction-proposta-para-reducao-de-desperdicios-naconstrucao-civil-revisao-bibliografica/>. Acesso em 26mar.2026

RODRIGUES, R.; CONFORTE, M. Aplicação de Ferramentas do Lean Construction no Gerenciamento de Empreendimento da Construção Civil, Boletim do Gerenciamento, v. 43, n. 43,2024.Disponível em:<https://npqg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/1202>.Acesso em: 03 Nov. 2024.

ROMERO, David **et al.** Rethinking Jidoka Systems under Automation & Learning Perspectives in the Digital Lean Manufacturing World. In: *Proceedings of the 8 th International Conference on Lean Six Sigma*. 2019.

SACRAMENTO, L. Planejamento estratégico na construção civil: diretrizes e cenários. In Anais do Seminário de Gestão de Obras, 2025.

SANTOS, Aguinaldo dos; POWELL, James. Rodrigues of cycle time through smaller batch sizes in English and Brazilian construction sites. Proceeding: CIB World Building Congresso. Wellington, NOVA Zelândia, abril, 2001.

SCOREPLAN. Níveis de planejamento: conheça os 3 níveis da estratégia. Santa Catarina: Scoreplan, 6 dez. 2023. Disponível em: <https://scoreplan.com.br/niveis-planejamento-estrategico/>. Acesso em 25 março 2026.

SCOREPLAN. Planejamento tático ou de médio prazo: o elo entre estratégia e execução. Scoreplan, 2023. Disponível em: <https://scoreplan.com.br/>. Acesso em 16 mar. 2026.

SCHMIDT, Cássio. *Diretrizes para aplicação da linha de balanço com ritmo fixo para o planejamento e gestão de obras de infraestrutura urbana*. 2022. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243568>. Acesso em 27 abr. 2026.

SEBRAE. (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). *Planejamento estratégico: dos primeiros passos até a execução*. Pernambuco: Sebrae-PE, 2022. Disponível em: <https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/PE/Anexos/Planejamento-estrategico-dos-primeiros%20passos-ate-a-execu%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em 07 abr. 2026.

SIENGE **Lean Construction: tudo o que você precisa saber**. Florianópolis: Sienge Plataforma, 2025. Disponível em: <https://sienge.com.br/blog/lean-construction/> Acesso em 20 mar. 2026.

SIENGE. **Kit Linha de balanço na obra: da teoria à prática**. Florianópolis: Sienge – Ecossistema da Indústria da Construção e do Mercado Imobiliário, 2026. Disponível em; <https://sienge.com.br/linha-de-balanco-obra-kit/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

SHAIBH, A. e PARRISH, K. (2024). Acoplamento da Resposta à Demanda e do PDCA às Operações de Construção Enxuta: Uma Prova de Conceito. *Anais da 32ª Conferência Anual do Grupo Internacional para Construção Enxuta*. 1039-1050. Doi.org/10.24928/2024/0199.

SHAIKH, G. M. 2010. Line of Balance (LOB) Scheduling for Project with Repetitive Work AACE International Transactions.

SHOOK, J. e MARCHWINSKI, C. LÉXICO LEAN – Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean, São Paulo, *Lean Enterprise Institute*, 2003.

SMARTSHEET. **Gráficos PERT vs. Gráficos de Gantt**, [S.I.], 25 fev. 2021. Disponível em: <https://pt.smartsheet.com/content/pert-vs-gantt>. Acesso em 26 mar 2026.

SMARTSHEET. Gráfico de Gantt: o que é, seus benefícios e como fazer o seu. [S.I.], 12 set. 2025. Disponível em; <https://pt.smartsheet.com/gantt-chart-guide>. Acesso em 14 mar. 2026

SOUZA, R. de; TAVARES, M. L.; PINA, A. R. **Lean Construction: Proposta para Redução de Desperdícios na Construção Civil**. Revista FT, 2024.

STERZI, M. O que é lean construction ou construção enxuta. Site AEC Web Academy, 2022. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/academy/aec-responde/o-que-e-lean-construction-ou-construção-enxuta/23618>. Acesso em: 02 de Nov. 2024.

STEVENS, M.; EGHBALJOOE, A. & THEVISSANT, F. (2023). *Um Evento Kaizen Possibilitado pela Engenharia de Sistemas em um Projeto de Infraestrutura*. Anais da 31ª Conferência Anual do Grupo Internacional para a Construção Enxuta, 1451-1462. Doi.org/10.24928/2023/0113.

SILVA, G. M.; Estudo de viabilidade de empreendimentos residenciais nas empresas construtoras/incorporadoras da cidade de Tubarão/SC. 2008. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão.

TEIXEIRA, A. P. C. Aplicação do Lean Construction em Canteiro de Obras. 2018. Disponível em : <https://repositorio.feituverava.com.br/srv-c0002-s01/api/core/bitstreams/4ba5c091-bc68-412b-9588-fadc490af550/content>. Acesso em: 12 de nov. 2024.

TOYOTA FORKLIFT. Jidoka: *O Pilar da Qualidade*. Toyota Material Handling, 2021. Disponível em fontes técnicas da Toyota sobre muda (desperdício) e Jidoka.

TOYOTA MOTOR CORPORATION. **Toyota Production System: Vision & Philosophy – Production System**. Toyota City: Toyota Motor Corporation, 2024. Disponível em: <https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/>. Acesso em 25 mar.2026.

TOLEDO, M. Lean Construction: o que é isso? Disponível em: <https://leansixsigmabrasil.com.br/lean-construction-o-que-e-isso/>. Acesso em: 12 de nov. 2024.

TOMCZAK, M., & Jaskowski, p. (2022). Análise do impacto de interrupções

TOMMELEIN, I. D. Collaborative takt time planning of non-repetitive work. 25 th annual conference of tplanejadas na LOB em projetos repetitivoshe international group for lean construction. 9-12 July 2017 Heraklion, Grécia, p. 745-752.2017.

TRACTIAN. *Planejamento operacional: o que é, como fazer e importância*. Blog Tractian, 2026. Disponível em: <https://traction.com/blog/planejamento-operacional-o-que-e-como-fazer-e-importancia>. Acesso em 07 abr.2026.

TRENTIM, Mário Henrique. **Gerenciamento de Projetos: guia para as certificações CAPM e PMP**. São Paulo: Atlas, 2020. (Obras focadas em práticas ágeis ou gestão de projetos).

TURK, A. Advancements in Linear Scheduling Method with Equipment Combination (LSM-ECC) for High-Rise Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 151, n. 2, 2025.

UEPG – Universidade Estadual de Ponta Grossa. *Planejamento de Obras com Linha de Balanço e BIM 4D*. Ponta Grossa: Departamento de Engenharia Civil, 2021. (Relatórios de pesquisa ou TCCs da área).

VARGAS, B. H. Aplicabilidade do Método da Linha de Balanço em Obras industriais. *Revista SEPA (Unifacs)*, 2023.

VASISHT, Prateek. Jidoka: The Toyota Principle of Building Quality info the Process. *SSRN Electronic Journal*. Nov 2020. Disponível em: 10.2139/ssrn.3738342.

VIEIRA, JPP, ETGES, BMBS, PELLEGRINO, RA, Lins, MA & Costa, LL (2022) Kaizen como Método de Melhoria na Construção de Muros de Concreto em Projetos de Habitação Social. *Anais da 30ª Conferência Anual do Grupo Internacional para Construção Enxuta*, 354-365, doi.org/10.24928/2022/0136.

PREVISION. [Webinar]. **Acelere suas obras com a Linha de balanço na prática!** YouTube, 4 jun.2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v+-ZtOaNWotrg>. Acesso em 21 mar. 2026.

WOMACK, James. P. *A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza*, edição revista e atualizada / James P. Womack, Daniel T. Jones; tradução de Ana Beatriz Rodrigues, Priscila Martins Celeste, Rio de Janeiro; Elsevier, 2004 – 22º reimpressão.

WILLICH, J. Lean Construction: o que é os cinco princípios fundamentais. Site Produtivo, 2023. Disponível em: <https://www.produtivo.com.br/blog/lean-construction/#como-surgiu-o-mtodo-lean-construction>. Acesso em: 12 de Nov. 2024.

ZACK, Jr, J. G. and COLLINS, SA, 2013. Forensic Schedule Analysis – Chapter 2: Delay Analysis on Non-CPM Scheduled Project. *Cost Engineering*. Pp 4-14, vol. 55, n. 6 November/December Morgantown, WV.

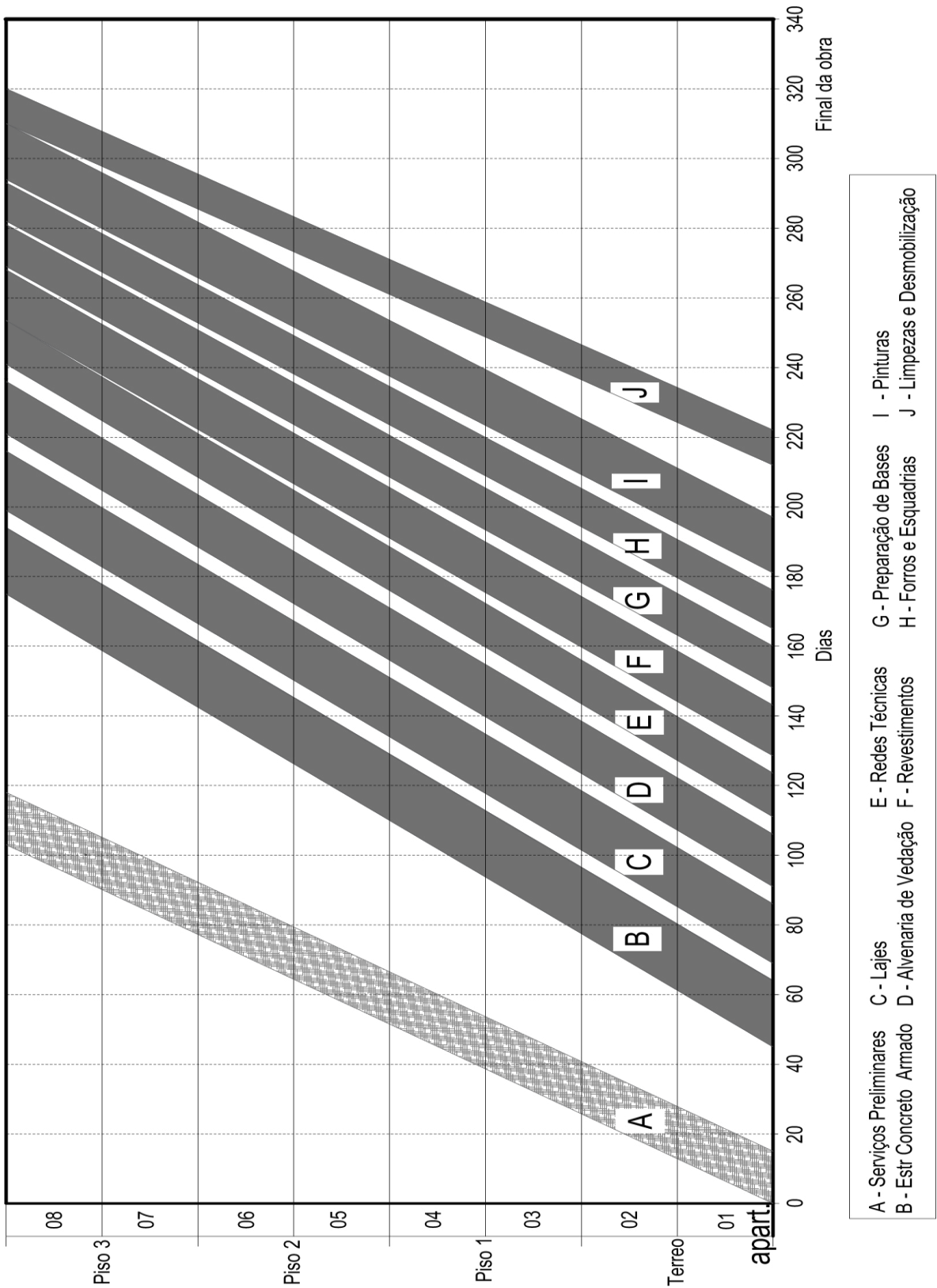
APÊNDICE A – LINHA DE BALANÇO / ANALÍTICA

(Tabela – 12)

Apartº	Serv Prelim		Estrutura		Lajes		Alvenaria		Redes Tecn		Revest		Prep Base		Esquadrias		Pinturas		Limpezas	
	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim	Inicio	Fim
1	0	15	45	64	69	86	91	106	111	124	129	143	148	160	165	176	181	197	212	222
2	15	30	64	83	88	105	110	125	130	142	146	161	165	177	182	193	197	213	226	236
3	29	44	82	101	106	123	128	143	148	161	164	179	183	195	198	209	213	229	240	250
4	44	59	101	120	125	142	147	162	167	179	182	197	200	212	215	226	229	245	254	264
5	59	74	119	138	143	160	165	180	185	198	200	214	217	229	232	243	246	262	268	278
6	74	89	138	157	162	179	184	199	204	216	218	232	234	246	249	260	262	278	282	292
7	88	103	156	175	180	197	202	217	222	235	236	250	252	264	265	276	278	294	296	306
8	103	118	175	194	199	216	221	236	241	254	254	268	269	281	282	293	294	310	310	320

APÊNDICE C – LINHA DE BALANÇO / BARRAS INCLINADAS

(Figura – 27)



ANEXO
DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que este Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia/Tese/Dissertação), escrito sob minha orientação, está em versão final, de acordo com as solicitações realizadas pela banca examinadora.

Informo também que procedi à revisão final do texto, constatando que atende às especificações das normas da ABNT para apresentação de trabalhos acadêmicos da UFCA, no que diz respeito ao conteúdo e à formatação.

Data e local da assinatura eletrônica