

UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Gustavo Carvalho da Silva

A LINHA DE BALANÇO COMO FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO
PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA PROPOSTA DE
IMPLEMENTAÇÃO

Texto para exame de defesa apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

Prof. Dr. José L. G. Hermosilla
Orientador

Araraquara, SP – Brasil
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

S58L Silva, Gustavo Carvalho da

A linha de balanço como ferramenta de planejamento para a construção civil: uma proposta de implementação/Gustavo Carvalho da Silva. – Araraquara: Universidade de Araraquara, 2023.
54f.

Dissertação (Mestrado) - Mestrado Profissional em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara - UNIARA

Orientador: Prof. José L. G. Hermosilla

1. Linha de balanço. 2. Implementação. 3. Construção civil. 4. Edifício residencial. I. Título.

CDU 62-1

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, G. C. **A Linha de Balanço como ferramenta de planejamento para a Construção Civil: uma proposta de implementação.** 2024. 95f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade de Araraquara, Araraquara-SP.

ATESTADO DE AUTORIA E CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: GUSTAVO CARVALHO DA SILVA

TÍTULO DO TRABALHO: A Linha de Balanço como ferramenta de planejamento para a Construção Civil: Uma proposta de implementação

TIPO DO TRABALHO/ANO: Dissertação / 2024

Conforme LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, o autor declara ser integralmente responsável pelo conteúdo desta dissertação e concede a Universidade de Araraquara permissão para reproduzi-la, bem como emprestá-la ou ainda vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem a sua autorização.



Assinatura Aluno(a)

Gustavo Carvalho da Silva

Universidade de Araraquara – UNIARA

Rua Carlos Gomes, 1217, Centro. CEP: 14801–340, Araraquara-SP

Email (do autor): eng.gcsilva@gmail.com



UNIVERSIDADE DE ARARAQUARA - UNIARA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade de Araraquara – UNIARA – para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.


NOME DO AUTOR: **GUSTAVO CARVALHO DA SILVA**

TÍTULO DO TRABALHO:

DISSERTAÇÃO INTITULADA **"A LINHA DE BALANÇO COMO FERRAMENTA DE PLANEJAMENTO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO"**

Assinatura do(a) Examinador(a)

Conceito




Prof(a). Dr(a). José Luis Garcia Herмосilla (orientador(a))
Universidade de Araraquara - UNIARA

(X)Aprovado () Reprovado



Prof(a). Dr(a). Sanderson César Macedo Barbalho
Universidade de Araraquara - UNIARA


(X)Aprovado () Reprovado



Prof(a). Dr(a). Alencar Soares Bravo
Université du Québec à Trois-rivieres
Département de management

(X)Aprovado () Reprovado

Versão definitiva revisada pelo(a) orientador(a) em: 05/08/24



Prof(a). Dr(a). José Luis Garcia Herмосilla(orientador(a))

Dedico este trabalho a minha esposa Roberta, que sempre acreditou no meu potencial e nunca duvidou do que eu poderia fazer, sempre dizendo vai e faz.

...” seja sempre seu melhor adversário, pois se souber seus pontos fracos irá se fortalecer sempre” ... (autor desconhecido)

RESUMO

Esta pesquisa tem como foco o projeto, o planejamento das atividades de execução e os desafios a eles associados, no segmento da construção civil, como o gerenciamento de atividades múltiplas e o cumprimento de prazos desafiadores. A falta de padronização dos processos construtivos e de recursos humanos qualificados, além da baixa integração entre os membros da cadeia de fornecimento são alguns dos principais fatores que podem impactar significativamente o sucesso de um projeto. Diversos métodos de planejamento e controle de obras na construção civil são apresentados na literatura como ferramentas de suporte a gestão como PERT, CPM, Gráfico de Gantt, e o diagrama de precedência. A técnica da Linha de Balanço (LB) tem sido apresentada como um elemento de apoio aos métodos tradicionais de planejamento, devido a sua clareza na forma de sequenciar as atividades. O objetivo desta pesquisa consiste em apresentar uma proposta para a integração da ferramenta LB como uma ferramenta de gestão na fase de planejamento e execução de projetos na indústria da construção. Ao examinar a literatura existente, não foram encontrados registros de estudos que priorizem a adoção da LB na construção civil, especialmente em projetos civis com características de repetibilidade. Muitos estudos destacam os benefícios e os resultados da LB, no entanto, a forma de implementação e a análise de resultados específicos de cada empresa não são devidamente consideradas. A pesquisa é baseada no estudo de um caso real de um empreendimento vertical de grande porte e alto padrão, com características repetitivas. A pesquisa tem natureza prescritiva e busca trazer mais clareza aos procedimentos de implantação da técnica no setor da construção civil, que ainda tem um baixo índice de utilização desta prática.

Palavras-chave: Linha de balanço. Implantação. Construção Civil. Edifício residencial.

ABSTRACT

This research focuses on the project, the planning of execution activities, and the associated challenges in the construction industry, such as managing multiple activities and meeting challenging deadlines. The lack of standardization in construction processes and qualified human resources, as well as the low integration among supply chain members, are some of the key factors that can significantly impact the success of a project. Various planning and control methods in the construction industry are presented in the literature as management support tools, such as PERT, CPM, Gantt Chart, and the precedence diagram. The Line of Balance (LB) technique has been introduced as a supportive element to traditional planning methods due to its clarity in sequencing activities. The objective of this research is to propose the integration of the LB tool as a management tool in the planning and execution phase of projects in the construction industry. Upon reviewing the existing literature, no records of studies prioritizing the adoption of LB in the construction industry were found, especially in civil projects with repetitive characteristics. Many studies emphasize the benefits and outcomes of LB; however, the implementation method and specific results analysis for each company are not adequately considered. The research is based on the study of a real case of a large-scale, high-standard vertical development with repetitive characteristics. The research is prescriptive in nature and seeks to bring more clarity to the implementation procedures of the technique in the construction sector, which still has a low adoption rate of this practice.

Key-words: *Line Of Balnce. Implementation. Civil Construction. Residential Building.*

Lista de figuras

Figura 01 - Representação percentual das atividades produtivas tratadas nas publicações sobre a temática LB.....	22
Figura 02 - Fluxograma de etapas de pesquisa.....	40
Figura 03 - Esquema de busca e seleção.....	42
Figura 04 - Linha de balanço tradicional.....	45
Figura 05 - Linha de balanço ajustada ao segmento da construção civil.....	46
Figura 06 - LB1 Linha de Balanço referente à 1ª implementação (LB1).....	49
Figura 07 - LB1 destaque da sequência de implantação.....	73
Figura 08 - LB2 destaque da sequência de implantação.....	74
Figura 09 - LB3 destaque da sequência de implantação.....	75
Figura 10 - LB1 Linha de Balanço referente à 1ª implementação (LB1).....	77
Figura 11 - LB2 Linha de Balanço referente à 2ª implementação (LB2).....	79
Figura 12 - LB3 Linha de Balanço referente à 3ª implementação (LB3).....	81
Figura 13 - (%) Eficiência de Custo.....	87
Figura 14 - (%) Eficiência de prazo.....	88
Figura 15 - (%) Eficiência do Envolvimento Equipes.....	89

Lista de Quadros

Quadro 01 -	Análise em quantidade e percentual de pesquisas por país.....	25
Quadro 02 -	Caracterização geral dos estudos levantados na revisão da literatura acerca da implantação da LB em processos produtivos.....	27
Quadro 03 -	Procedimentos detalhados da evolução da Linha de Balanço (LB).....	84

Lista de Gráficos

Gráfico 01	Percentual de publicações científicas por década.....	23
Gráfico 02	Publicações por segmento produtivo ao longo das décadas 80, 90, 00, 10 e 20.....	23
Gráfico 03	Percentual de publicações por segmento produtivo.....	24

Lista de Abreviaturas e Siglas

- BIM** - Building Information Modeling
- CAPES** - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CC** - Construção Civil
- CPM** - Critical Path Method / Método do Caminho Crítico
- GPCC** - Gestão de Projetos na Construção Civil
- ICECE** - International Conference on Electrical and Control Engineering
- LB** - Balance of Line / Linha de Balanço
- PERT** - Program Evaluation and Review Technique / Técnica de Avaliação e Revisão de Programa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 LINHA DE BALANÇO	17
2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A LINHA DE BALANÇO (LB)	17
2.2 APLICAÇÕES DA LINHA DE BALANÇO EM PROCESSOS PRODUTIVOS: REVISÃO DA LITERATURA	23
3 METODOLOGIA DE PESQUISA.....	40
4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS (resultados preliminares)	44
4.1 Contexto e concepção inicial da LB (primeira aplicação).....	44
4.2 Implantação com base na literatura (segunda aplicação)	53
4.3 Depuração dos procedimentos identificados na literatura (terceira aplicação)	62
4.4 Análise do aprendizado	72
4.5 Resultados.....	73
5 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

A área de planejamento no segmento da Construção Civil (CC) enfrenta complexos desafios, como o gerenciamento de múltiplas atividades e o cumprimento de prazos apertados, e em caso de falha pode resultar em atrasos, desperdícios e aumento de custos (ROCHA; ANZANELLO; GERCHMAN, 2018a).

O fluxo de trabalho contínuo se tornou um desafio para a referida área, demandando melhor coordenação de equipes e garantia da disponibilidade dos recursos, para o cumprimento de cada etapa do projeto (UNGUREANU; HARTMANN; SERBANOIU, 2019a). No entanto, muitas vezes essas tarefas são executadas de forma não apropriada, podendo levar à perda de produtividade, aumento dos riscos ocupacionais nos canteiros de obras, e dos custos, e a atrasos na conclusão do projeto (AMMAR; ABDEL-MAGED, 2018a).

Uma das razões para o planejamento não apropriado é a falta de padrão no processo construtivo, permitindo que cada etapa do projeto possa ser executada de diferentes formas, o que torna difícil a coordenação das atividades e o cumprimento dos tempos de execução, (AMMAR, 2020a). A CC é um dos segmentos econômicos mais importantes e cruciais para o desenvolvimento econômico e social de um país, e a ineficiência de seus processos pode acarretar diversos problemas (AMMAR, 2022), dentre os quais:

- Desperdício de materiais, com a geração de grande quantidade de resíduos sólidos (UNGUREANU; HARTMANN; SERBANOIU, 2019b) normalmente associada a falta de planejamento adequado, a ausência de tecnologias e técnicas modernas, e a falta de mão de obra qualificada (AMMAR, 2022).
- Atrasos nos processos, normalmente intensivos em mão de obra e dependente de muitos fornecedores, associados a falta de planejamento, (ROCHA; ANZANELLO; GERCHMAN, 2018a).
- Baixa produtividade, ainda mais em atividades predominantemente braçais e que demandam muitas horas de trabalho, o que aumenta os custos e os atrasos (SHABEER ALI; RAKESH; ANAND, 2019).
- Aumento dos riscos ocupacionais bem como ambientais (LUJÍĆ; BARKOVIĆ; JUKIĆ, 2019).

O planejamento e o controle de obras na construção civil podem ser realizados com o auxílio de diferentes métodos como PERT, CPM, Gráfico de Gantt e Diagrama de Precedência (COLLIER et al., 2018). O método PERT, também conhecido como Program Evaluation and Review Technique (*Técnica de Avaliação e Revisão de Programas*), analisa a rede de

atividades, determinando a sequência e duração delas. Entretanto, pode se tornar inviável quando há um grande detalhamento dos serviços, o que demanda muito cálculo (AMMAR, 2020a). O Método do Caminho Crítico (CPM) organiza e sequência as tarefas, destacando ligações e dependências, identificando o caminho crítico, que é a sequência de atividades que determina a duração mínima do projeto, não possuindo folga, o que significa que qualquer atraso nessas atividades impactará diretamente a data de conclusão do projeto. (AMMAR, 2020).

O Gráfico de Gantt é um método simples que utiliza barras horizontais para representar as atividades e sua duração ao longo do tempo, estabelecendo tarefas individuais e tarefas dependentes. No entanto, não evidencia a interdependência entre as atividades, o que pode dificultar a identificação do caminho crítico e possíveis atrasos. Em contrapartida, o Diagrama de Precedência é uma abordagem que emprega representação gráfica para mostrar a sequência e interligação das atividades. No entanto, requer familiarização prévia com a terminologia e os símbolos utilizados (SHABEER ALI; RAKESH; ANAND, 2019).

Para obter bons resultados em um projeto de construção, é necessário adotar uma abordagem eficaz no planejamento e controle, levando em consideração as vantagens e limitações de cada método disponível (BANIHASHEMI et al., 2017). Neste contexto, a Linha de Balanço (LB) destaca-se como uma ferramenta simples na visualização das informações de planejamento ao longo do tempo e auxilia a gestão da demanda por recursos (CAPUTO et al., 2020; ROCHA; ANZANELLO; GERCHMAN, 2018b). Ela pode ser complementada por outras ferramentas de gerenciamento da construção, com o objetivo de otimizar os resultados do projeto. A adoção da LB como parte integrante da estratégia de planejamento e controle pode contribuir para a evolução da obra, representando um método de aprendizado contínuo dos processos de construção envolvidos e gerando oportunidades de melhoria no projeto (TOKDEMIR; EROL; DIKMEN, 2019b).

A principal característica da LB é a visualização do sequenciamento das atividades, simplificando e resumindo a complexidade do planejamento (RECK et al., 2020). A LB tem como objetivo apresentar possibilidades de atrasos e visa ajustar a produtividade (TANG et al., 2018), oportunidades de melhoria são identificadas com o auxílio desta ferramenta, otimizando a utilização de recursos, identificando obstáculos que podem comprometer o fluxo de trabalho (HEGAZY; SAAD; MOSTAFA, 2020; XU et al., 2021), gerando a possibilidade de identificar falhas na produção, desvios de prazo e riscos ocupacionais (AMMAR, 2020b; DAMCI, 2022b; HERAVI; MORIDI, 2019b), priorizando a execução e gerando um melhor aproveitamento do

tempo do projeto (HERAVI; MORIDI, 2019a), apresentando um bom ajuste para construções de unidades habitacionais repetitivas, identificando e gerenciando as interdependências de atividades (AMMAR; ABDEL-MAGED, 2018).

A LB em conjunto com os métodos mais comuns na gestão de planejamento apresenta benefícios claros (SHABEER ALI; RAKESH; ANAND, 2019). Em parceria com o PERT, a LB simplifica o planejamento com menos cálculos, facilitando sua distribuição (JO; LEE; PYO, 2018). Quando associada ao CPM, a técnica apresenta o sequenciamento das atividades, permitindo a visualização clara do vínculo entre elas e sua influência no tempo, destacando o caminho crítico e o que pode comprometê-lo (JO; LEE; PYO, 2018; XU et al., 2021). Já a integração com o gráfico de Gantt, proporciona maior organização das atividades e das datas, simplificando a visualização da sequência dos serviços (AMMAR, 2022; XU et al., 2021). O seu uso com o diagrama de precedência, permite uma simplificação dos termos utilizados, possibilitando a participação das equipes de produção, que possuem pouco conhecimento do método (AMMAR, 2020a; UNGUREANU; HARTMANN; SERBANOIU, 2019a).

A fim de alcançar o sucesso na implementação da LB, é necessário identificar as atividades críticas e analisar os riscos associados às atividades que possam prejudicar o andamento da obra (ZOU; ZHANG; ZHANG, 2018). No entanto, um dos principais desafios da LB é a sua compreensão por parte dos profissionais da execução, exigindo desses profundos conhecimentos das atividades e de seu sequenciamento (UNGUREANU; HARTMANN; SERBANOIU, 2019a). Quando utilizada de maneira adequada, a LB pode ser uma ferramenta valiosa para a gestão de planejamento na construção civil (RECK et al., 2020).

A LB consiste em dividir a obra em várias atividades e etapas, alocando recursos de maneira eficiente e monitorando o progresso em cada etapa (UNGUREANU; HARTMANN; SERBANOIU, 2019a), o que pode reduzir o desperdício de materiais, melhorar a produtividade e a segurança ocupacional e reduzir os atrasos na obra. Portanto, o uso da LB pode ser fundamental para melhorar a qualidade e eficiência da construção civil (TOKDEMIR; EROL; DIKMEN, 2019a).

Este estudo tem o propósito de detalhar a aplicação da LB na construção civil, especialmente nas etapas de planejamento e controle de obras. A revisão da literatura nas bases de dados Science Direct, Google Acadêmico e Periódico CAPES, identificou 102 artigos publicados nos últimos 05 anos, dos quais apenas 17 trataram da aplicação da LB na construção civil, enquanto o foco dos demais se voltou à modelagem matemática dos processos e as melhorias conquistadas com o uso da técnica. Pouco foi evidenciado nos trabalhos identificados

quanto à sistemática de implementação da técnica, razão que levou o pesquisador a contribuir para com essa lacuna identificada.

Esta pesquisa prescritiva tem como objetivo desenvolver um procedimento sistemático para a aplicação da LB na construção civil, especificamente no planejamento e controle de obras de edifícios de alto padrão. O pesquisador, que também é um profissional da construção civil em uma grande empresa do setor, usará a implementação desse método em dois projetos diferentes como referência. O primeiro projeto seguirá os procedimentos sugeridos na literatura, enquanto o segundo servirá para aprimorar a abordagem inicial por meio da experiência prática. Ao término do segundo projeto, espera-se que as diretrizes operacionais estejam mais alinhadas com a realidade. O objetivo central desta pesquisa é integrar a equipe de produção nas decisões de planejamento, envolvendo todos na compreensão das sequências de serviços e como isso pode melhorar a eficiência na produção. Portanto, a pesquisa busca responder a seguinte pergunta: "Como a implementação de um procedimento baseado na LB pode otimizar a execução de atividades em projetos de construção de edifícios residenciais de alto padrão? E como esse método pode ser incorporado à em uma empresa?"

A dissertação está estruturada em 06 seções:

- Seção 1: Introdução - Apresenta a contextualização, o problema de pesquisa, os objetivos, a justificativa, a metodologia e a organização do texto.
- Seção 2: Referencial Teórico - Explora o conceito da Linha de Balanço (LB).
- Seção 3: Método de Pesquisa - Detalha os procedimentos adotados para conduzir a pesquisa.
- Seção 4: Pesquisa na Empresa - Descreve a pesquisa realizada na empresa, incluindo a criação do procedimento para a implementação da Linha de Balanço (LB), o diagnóstico da situação atual e a importância do envolvimento da equipe de produção.
- Seção 5: Conclusões e Considerações Finais - Apresentam as principais conclusões da pesquisa, suas limitações e sugestões para futuros estudos.
- Referências - Lista as obras citadas ao longo do texto.

2 LINHA DE BALANÇO

2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A LINHA DE BALANÇO (LB)

A LB é uma metodologia voltada a gestão de processos, com impactos sobre a eficiência industrial, e tem sua origem associada às contribuições pioneiras de Frederick W. Taylor do início do século XX (WOMACK; JOHES; ROOS, [s.d.]). Taylor desenvolveu métodos que elevaram a produtividade dos processos fabris da época, e que consolidaram as bases para a evolução da LB, evolução esta que ocorreu inicialmente nas indústrias automobilística, de eletroeletrônicos, e de alimentos (DYKSTRA, [s.d.]).

O propósito principal da metodologia LB é distribuir as atividades produtivas em fluxo contínuo, fato que permite melhorar não somente seu planejamento, como seu alinhamento aos princípios de produção em massa que ganharam destaque à época (DYKSTRA, [s.d.]). O conceito de linearização dos processos e seu equilíbrio no contexto fabril em realidade remonta a Adam Smith, século XVIII, quando foi proposta a divisão do trabalho para aumentar a eficiência produtiva, ideia essa também empregada por Eli Whitney, século XIX, para simplificar atividades agrícolas e que mostrou ser possível a produção em larga escala, aspecto este consolidado por Henry Ford, no século XX, com a implementação da linha de montagem para a produção do Modelo T (WOMACK; JOHES; ROOS, [s.d.]).

A metodologia da LB permitiu melhor aproveitamento dos recursos produtivos disponíveis, aumentando o balanceamento das atividades e, por conseguinte, a produtividade e a qualidade dos processos e produtos (CARTER; SILVERMAN, 1984). O avanço da tecnologia e da automação industrial conferiram aos processos produtivos condições melhores de produção e produtividade, os quais aliados a limitações de recursos levaram ao surgimento do Sistema Toyota de produção a partir da segunda metade do século XX; este sistema de produção baseado na filosofia da "produção enxuta" incorporou elementos da LB em seus processos, como forma de conferir maior flexibilidade e menor desperdício (DYKSTRA, [s.d.]). O uso da LB busca atender às demandas do mercado de forma ágil, reduzindo estoques e maximizando a eficiência, sua evolução seguiu com a Indústria 4.0, que integra tecnologias como IoT, inteligência artificial e automação avançada, permitindo sistemas de produção mais eficientes e adaptáveis às mudanças de demanda do mercado (MUGENDIRAN; BABU; RAMADOSS, 2014).

As indústrias buscam constantemente otimizar suas operações, com o objetivo de melhorar a eficiência, cortar despesas e assegurar a qualidade dos produtos. Uma estratégia eficaz para atingir esse objetivo é aprimorar a organização da produção, uma metodologia que

visa distribuir as tarefas de forma equilibrada entre os recursos disponíveis (WOMACK; JOHES; ROOS, [s.d.]). A ordenação correta das atividades é fundamental para garantir o uso pleno das funcionalidades da LB, e por outro lado, uma escolha errada pode resultar em atrasos, com impactos sobre a produtividade; o desequilíbrio das atividades ao longo dos processos pode levar à ociosidade de recursos em algumas estações de trabalho e à saturação em outras, aumentando o desafio de se encontrar a alocação ideal para maximizar a utilização de todos os recursos, desafio este que se torna ainda maior quando se incorpora neste contexto as incertezas advindas das flutuações de demanda. Estratégias como a flexibilidade das estações de trabalho ou a implementação de buffers (folgas) podem ajudar a lidar com variações sazonais ou imprevistas (DYKSTRA, [s.d.]; WOMACK; JOHES; ROOS, [s.d.]).

Ao longo dos anos, a LB se estabeleceu como uma ferramenta crucial na gestão industrial. Sua abordagem sistemática e foco na melhoria do fluxo de trabalho têm impulsionado aumentos na produtividade em diversos setores. Embora tenha evoluído ao longo do tempo, a essência da LB permanece a mesma: equilibrar as atividades ao longo do tempo para evitar gargalos e maximizar a eficiência. Portanto, é importante reconhecer suas origens históricas para compreender de forma plena sua aplicação e seus impactos sobre as práticas de gestão (BJÖRNFOT; JONGELING, 2007).

A LB, como uma abordagem para a organização de processos ao longo de uma linha de montagem, desempenhou um papel de extrema relevância no avanço da eficiência industrial ao longo do século XX e passou a ser mais utilizada a partir desse período (WOMACK; JOHES; ROOS, [s.d.]). A indústria automobilística, em particular, emergiu como uma das pioneiras na adoção da LB, notadamente com a influência do Modelo T da Ford no início do século, a Ford, de fato, implementou um sistema altamente eficaz, no qual cada trabalhador era encarregado de uma tarefa específica (WOMACK; JOHES; ROOS, [s.d.]). Isso resultou em um aumento substancial na produção e em uma significativa redução de custos. A abordagem inovadora da Ford influenciou outras montadoras, tornando-se um marco histórico no desenvolvimento das linhas de montagem (DYKSTRA, [s.d.]; WOMACK; JOHES; ROOS, [s.d.]). Com o advento da indústria eletrônica nas últimas décadas, especialmente na fabricação de dispositivos eletrônicos, como smartphones e computadores, a estratégia de divisão de tarefas ao longo de uma linha de montagem continuou a desempenhar um papel crucial. Isso possibilitou a produção em larga escala e a capacidade de resposta ágil às flutuações da demanda do mercado (HAMADA et al., 1996).

A revisão da literatura apresenta lacunas no tocante ao tema em questão, especificamente a sistemática de implantação da LB no segmento da construção civil, e revela que essa preocupação com o assunto é tratada de forma mais proeminente em outros segmentos, principalmente no setor industrial metal mecânico. A busca por suporte teórico científico desta pesquisa conduziu a investigação para duas frentes de atuação, sendo elas as evidências a respeito dos procedimentos de implantação da LB de outros segmentos econômicos e a obra de Rother e Harris (2002) considerada fundamental para a concepção e desenvolvimento de processos de produção em fluxo contínuo. Apesar desta obra estar voltada ao segmento industrial tradicional e não ao segmento da construção civil, ela apresenta um procedimento didático e otimizada das etapas importantes para a concepção de processos de produção contínua (LAM et al., 2016).

A LB é uma abordagem estratégica que evoluiu significativamente em seu uso na indústria da construção civil, no entanto, a aplicação de procedimentos para a implantação da LB carece de uma base científica sólida, o que ressalta a necessidade de mais pesquisas e publicações (HE; LIU; MA, 2013). Para enfrentar o desafio de equilibrar eficiência, custo e prazo, a construção civil precisa de ferramentas que identifiquem pontos de melhoria em seus processos para torná-los mais eficientes e fluidos (MUGENDIRAN; BABU; RAMADOSS, 2014). Adaptada da indústria de manufatura e produção, a LB tem sido incorporada à construção civil com o objetivo de otimizar a alocação de recursos, minimizar a ociosidade e melhorar a coordenação entre as atividades (ESWARAMOORTHY et al., 2012).

A LB surgiu como uma necessidade de melhorar a produtividade nas atividades de manufatura, mas sua aplicação na construção enfrentou desafios únicos devido à natureza complexa e variável das obras (HE; LIU; MA, 2013). Desde sua introdução inicial, a LB na construção tem evoluído consideravelmente, incorporando conceitos como modelagem de informações de construção (BIM), gerenciamento ágil de projetos e técnicas de simulação para aprimorar a eficácia do planejamento e programação (MUGENDIRAN; BABU; RAMADOSS, 2014). A ausência de diretrizes claras para a implantação da LB em diferentes tipos de projetos e cenários específicos contribui para a hesitação das empresas em adotar essa abordagem (ESWARAMOORTHY et al., 2012). A escassez, de publicações científicas que abordem a aplicação prática e os procedimentos detalhados para a geração da LB, é uma barreira que limitam o avanço da indústria da construção (BJÖRNFOT; JONGELING, 2007). A falta de casos de estudo, análises de viabilidade e comparações empíricas dificulta a tomada de decisões informadas pelos profissionais do setor.

A implementação da LB surge como uma resposta aos desafios enfrentados pelas indústrias ao longo dos anos, dentre esses desafios, destacam-se problemas cruciais que justificam o uso da LB como uma ferramenta auxiliar na solução dessas questões (LAM et al., 2016). A eficiência operacional tornou-se uma preocupação essencial das indústrias devido ao aumento da demanda por produtos e à crescente pressão por redução de custos, visando otimizar o uso de recursos e minimizar desperdícios (BANIHASHEMI et al., 2017a).

Nesse contexto, a LB, ao dividir o processo de produção em tarefas específicas realizadas de forma sequencial, desempenha um papel fundamental na maximização da produtividade, reduzindo o tempo ocioso (UNGUREANU; HARTMANN; SERBANOIU, 2019b; ZHANG; TANG; QI, 2017). Para alcançar esse objetivo, a coordenação eficaz do tempo de ciclo e fluxo contínuo é essencial, garantindo que as diferentes etapas do processo de produção estejam alinhadas e fluam de forma contínua e eficiente (ZHANG; TANG; QI, 2017). Isso contribui para evitar a falta de sincronização entre as atividades, que poderia resultar em atrasos, excesso de estoque e problemas de qualidade. (UNGUREANU; HARTMANN; SERBANOIU, 2019b).

A implantação da LB (LB) na indústria é uma prática bastante comum, visto que se concentra em atividades complexas e desafiadoras. Trata-se de uma estratégia de gerenciamento que busca otimizar a produção, e alcançar um equilíbrio na carga de trabalho em vários pontos e processos dentro da linha de montagem (CARTER; SILVERMAN, 1984).

Nesse contexto, é fundamental estabelecer objetivos claros para uma implementação mais precisa e para a avaliação dos resultados. Os principais objetivos de seu emprego incluem:

- Aumento da Eficiência - um dos principais objetivos da implantação da LB é aumentar a eficiência da produção. Isso implica em reduzir o tempo de ciclo, minimizar o desperdício de recursos e melhorar a qualidade do produto (DAMCI, 2022).
- Redução de Custos - a ideia é que uma LB bem projetada possa reduzir os custos de produção, tanto em termos de mão de obra quanto de materiais (ABDULLAH et al., 2022).
- Aumento da Produtividade - muitas empresas esperam que a LB leve a um aumento significativo na produtividade, permitindo que produzam mais unidades em menos tempo (AMMAR, 2022; GOVENDER; DEWA, 2022).

- Melhoria da Qualidade - outra expectativa é que a padronização dos processos em uma LB leve a uma melhoria na qualidade do produto, uma vez que cada etapa pode ser controlada com mais precisão (ABDULLAH et al., 2022; AMMAR, 2022).

A LB teve sua origem atrelada à indústria de manufatura e sua implantação requer plena compreensão dos processos, para que seja possível definir pacotes de trabalho (LUJIĆ; BARKOVIĆ; JUKIĆ, 2019).

De um modo geral, a literatura tem apontado que para se implantar a LB é necessário identificar os processos de produção, analisar o fluxo de trabalho, e separar as tarefas críticas, os tempos de ciclo, as estações de trabalho e os fatores relevantes que limitam o processo, permitindo determinar o Takt Time que é o ritmo que os produtos e serviços precisam ser executados (AMMAR; ABDEL-MAGED, 2018; ZOU; ZHANG; ZHANG, 2018).

Para visualizar as tarefas na LB é necessário segregar tarefas que sejam similares ou sequenciais, o que permite potencializar a redução de pontos falhos no processo produtivo; com esta separação das tarefas e o agrupamento do que tem conexão com a sequência do trabalho é possível definir tarefas específicas a cada estação de trabalho ou equipe, considerando o Takt Time, o que permite determinar a capacidade produtiva de cada estação (ZHANG; TANG; QI, 2017).

A definição da sequência de produção é a garantia do fluxo de produtos e serviços, etapa esta que pode ser auxiliada pelo uso de técnicas como diagramas de precedência, segundo Ungureanu, Hartmann e Serbanoiu (2019).

A literatura sugere implementar medidas de controle e qualidade, para que seja possível avaliar a evolução do trabalho a partir do uso da LB, uma vez que com o controle de produção é possível avaliar a eficiência do processo gerando indicadores que poderão atestar a consistência da estratégia proposta dentro da linha de produção (ABDULLAH et al., 2022).

A partir da análise da literatura é possível identificar que a LB visa criar um fluxo contínuo de produção, com foco na evolução da produção, porém o segmento da construção civil pouco se utilizou desta ferramenta, fato que evidencia a necessidade de maior profusão na temática que envolve a implantação da LB no setor.

De acordo com Rother et al. (s.d.) (ROTHER et al., [s.d.]) o uso da técnica da LB pode auxiliar no desenvolvimento de uma gestão mais participativa e democrática dos processos, uma vez que permitirá maior compartilhamento e clareza das informações entre os diversos níveis (ROTHER et al., [s.d.]).

Na indústria, a LB funciona como uma estratégia de oportunidades, apoiando as melhorias necessárias e identificando possíveis pontos falhos ou de folgas, revelando ganhos expressivos de produtividade (LUJIĆ; BARKOVIĆ; JUKIĆ, 2019).

No que diz respeito à variação da demanda e flexibilidade, é importante reconhecer que as flutuações na demanda por produtos podem apresentar desafios significativos na gestão da produção, no entanto, a LB, quando implementada de maneira flexível, oferece a capacidade de adaptação rápida às variações da demanda (LUJIĆ; BARKOVIĆ; JUKIĆ, 2019).

A alocação de mão de obra e recursos de acordo com as necessidades atuais desempenha um papel fundamental na prevenção de excessos de produção ou escassez, permitindo uma resposta mais eficaz às mudanças no mercado, quanto à padronização e qualidade, a manutenção da qualidade do produto é uma preocupação constante nas indústrias (TANG et al., 2018b).

A LB favorece a padronização dos processos, o que, por sua vez, pode resultar em um aumento na qualidade e consistência dos produtos, a produção em série de peças intercambiáveis, promovida pela LB, reduz a variabilidade e minimizam os erros de montagem, o que se traduz em produtos mais confiáveis e de melhor qualidade (ZOU; ZHANG; ZHANG, 2018).

Outro aspecto revelado pela literatura é a melhoria de aspectos ergonômicos dos processos com a implantação da LB, considerando que a repetição constante de tarefas em um ambiente de produção tradicional pode levar à fadiga e a problemas de saúde ocupacional, riscos estes que podem ser mitigados, uma vez que a LB pode ser projetada para minimizar movimentos repetitivos e proporcionar a rotação de tarefas (AMMAR; ABDEL-MAGED, 2018; HAMADA et al., 1996).

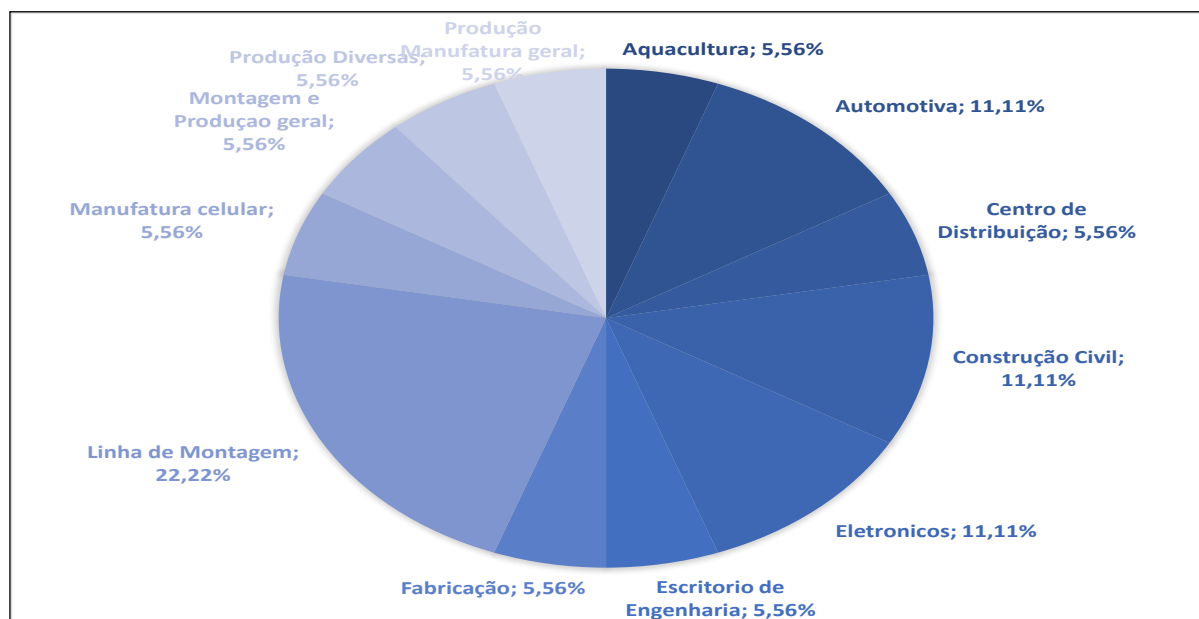
Embora a adoção da LB tenha como objetivo aumentar a produção ao distribuir as tarefas de forma otimizada ao longo da linha de montagem, as indústrias buscam reduzir os tempos de ciclo, permitindo a fabricação mais rápida dos produtos (JO; LEE; PYO, 2018; RACHMAWATY; KARNINGSIH; SANTOSA, 2018).

Embora nem sempre seja o objetivo primordial, a implementação da LB também pode melhorar as condições de trabalho para os operários, por conta da melhor distribuição de tarefas, e, por conseguinte, de um ambiente menos desgastante (COLLIER et al., 2018; JIN et al., 2019).

2.2 APLICAÇÕES DA LINHA DE BALANÇO EM PROCESSOS PRODUTIVOS: REVISÃO DA LITERATURA

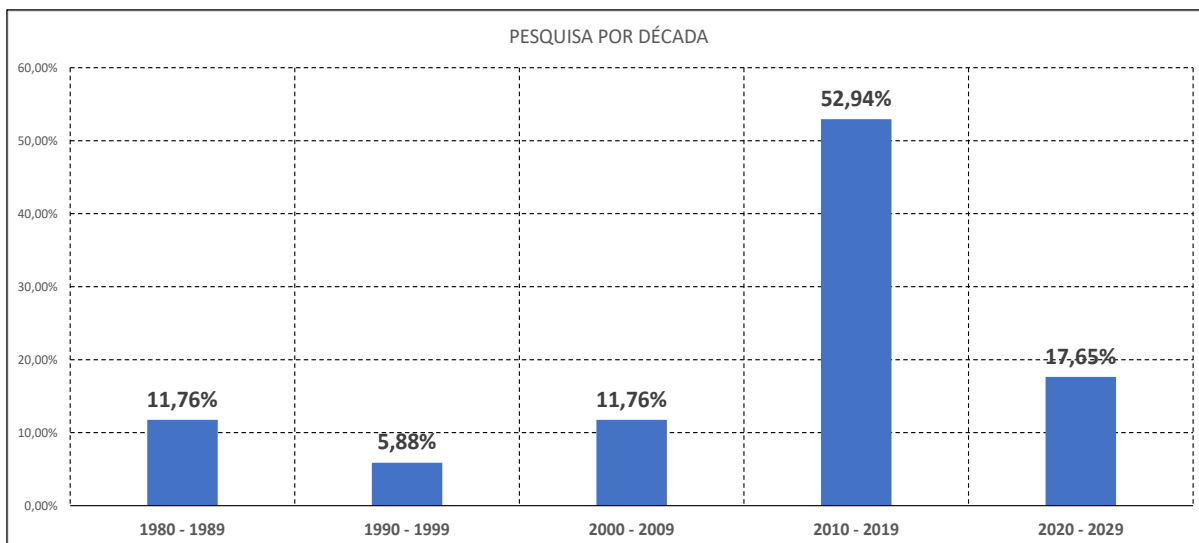
Como será visto de forma detalhada na seção Metodologia da pesquisa, a busca por evidências científicas sobre os procedimentos de implantação da LB, levou a seleção de 17 trabalhos, cuja maioria tratou de atividades produtivas relacionadas a Linhas de Montagem, como pode ser observado na Figura 01.

Figura 01 – Representação percentual das atividades produtivas tratadas nas publicações sobre a temática LB



Fonte: Próprio autor (2024)

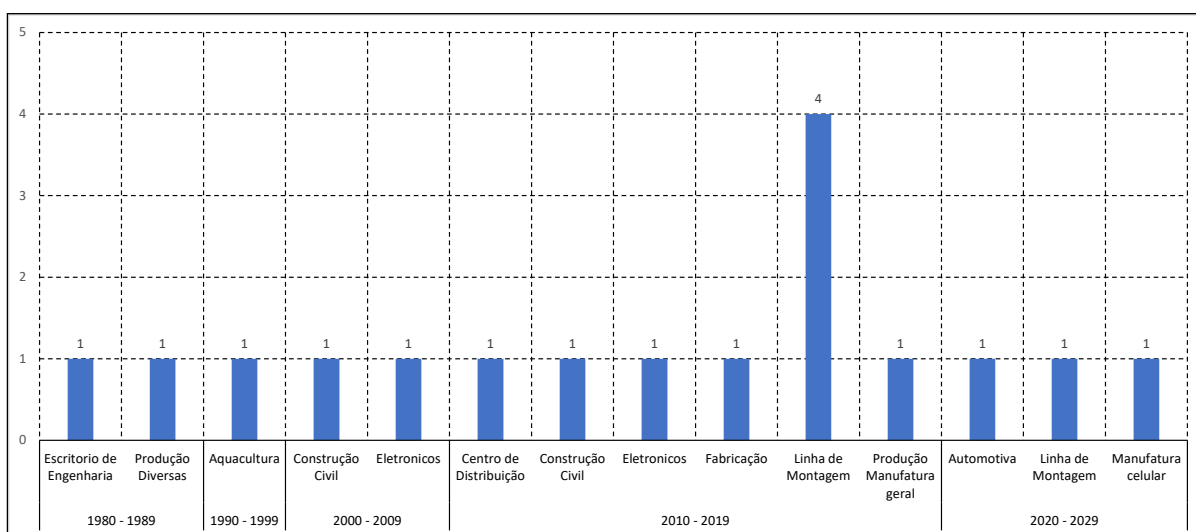
A análise cronológica das publicações envolvendo o tema LB, como pode ser observada no gráfico 01, e considerando as últimas 4 décadas completas (80, 90, 00, 10, 20), revela que o maior volume de publicações se concentrou no período entre 2010 e 2019, representando 52,94% das obras selecionadas sobre o assunto. Este fato mostra o interesse recente por esse tema e a disposição em conhecê-lo melhor.

GRÁFICO 01 – Percentual de publicações científicas por década

Fonte: Próprio autor (2024)

Os segmentos que mais estiveram envolvidos nas pesquisas com a temática LB, também mostram a direção do interesse científico pela técnica, e revelam, como pode ser observado no gráfico 02, que o segmento industrial onde há linhas de montagem, obteve destaque pelo número de publicações envolvidas.

Nota-se uma predominância dos segmentos de produção automobilística e manufatura nos trabalhos mais recentes.

GRÁFICO 02 – Publicações por segmento produtivo ao longo das décadas 80, 90, 00, 10 e 20

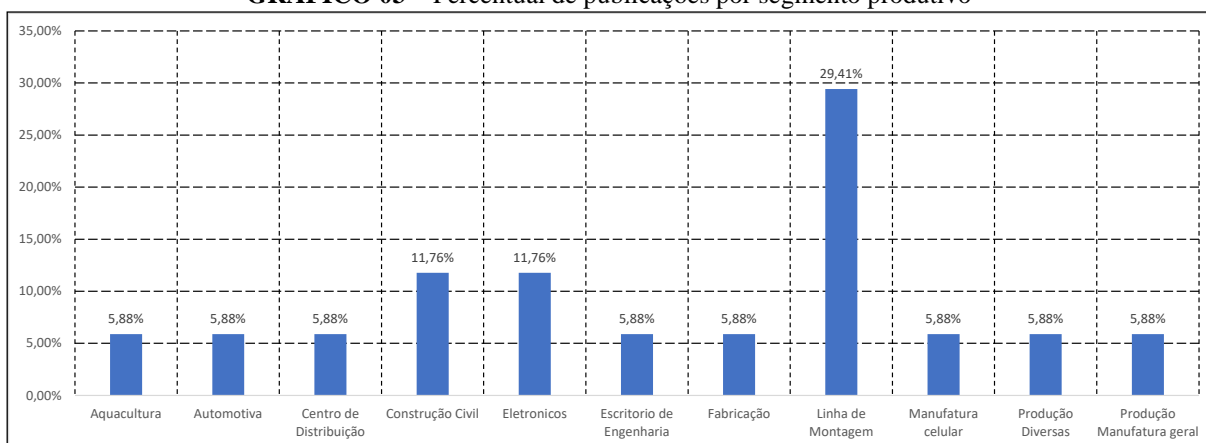
Fonte: Próprio autor (2024)

O exame das áreas nas quais esses estudos foram desenvolvidos (Gráfico 03), revela que 29,41% das pesquisas estão relacionadas à linha de montagem, o que aponta um interesse específico por parte da indústria.

Os trabalhos desenvolvidos no segmento da construção civil, apresentam como característica como o uso de modelagens matemáticas, enquanto os da indústria de eletrônicos tratam de ajustes de layout, representando 11,76% do total.

Apesar das evidências, nenhum trabalho que tratasse da sistemática de implantação da LB na construção de edifícios figurou dentre as publicações levantadas, como se pode observar no gráfico 03.

GRÁFICO 03 – Percentual de publicações por segmento produtivo



Fonte: Próprio autor (2024)

Ao analisar o cenário em que a LB tem sido aplicada, torna-se relevante mencionar os países que lideram em número de estudos sobre essa técnica, com o propósito de promover uma maior disseminação dessa ferramenta, ampliando seu uso.

De acordo com o Quadro 01 abaixo:

Quadro 01 – Análise em quantidade e percentual de pesquisas por país

País do Estudo	Continente	Total da Amostra	Total em %
Estados Unidos	América do Norte	3	17,65%
Malasya	Ásia	3	17,65%
China	Ásia	3	17,65%
Indonésia	Ásia	2	11,76%
Suécia	Europa	1	5,88%
Japão	Ásia	1	5,88%
Polonia	Europa	1	5,88%
Índia	Ásia	1	5,88%
Vietnam	Ásia	1	5,88%
África do Sul	África	1	5,88%

Fonte: Próprio autor (2024)

O continente asiático predomina dentre os demais no que se refere às publicações sobre LB, o que pode estar associado a preocupação com a diminuição dos desperdícios na construção civil, muito embora a pesquisa envolvendo esse tema, no segmento da construção, ainda tenha muito a evoluir (AAMER; ISLAM, 2019).

A principal barreira a maior utilização da técnica LB na construção tem sido apontado como a falta de procedimentos padronizados para sua implementação em projetos da área, fato que se torna ainda mais desafiador por conta da escassez de publicações que explorem a adaptação da LB no setor (TOMAR; BANSAL, 2019).

A aplicação da LB no segmento da construção civil é influenciada por fatores ambientais e logísticos específicos de cada local, como disponibilidade de materiais, condições climáticas e restrições de espaço (SHABEER ALI; RAKESH; ANAND, 2019).

Este aspecto torna crucial desenvolver procedimentos abrangentes e flexíveis que abordem a seleção de atividades, o sequenciamento, a alocação de recursos e a análise de riscos no setor de edificações (LUJIĆ; BARKOVIĆ; JUKIĆ, 2019).

A construção civil frequentemente envolve complexidades, como a gestão de múltiplos subsistemas, equipes multifuncionais e limitações de recursos (HERAVI; MORIDI, 2019).

A adaptação da LB para lidar com esses desafios inerentes aos processos civis pode demandar um planejamento mais estratégico e eficiente, e que contribua para a sustentabilidade

e a eficiência energética em projetos de construção (UNGUREANU; HARTMANN; SERBANOIU, 2019).

Outra importante questão que merece destaque neste contexto é sobre a integração da LB às estratégias sustentáveis do segmento à medida que a indústria da construção se digitaliza e adota inovações tecnológicas, como BIM, simulações virtuais e análises de dados em tempo real (JIN et al., 2019).

Uma oportunidade é desenvolver procedimentos universais que orientem a aplicação da LB em diversos projetos de construção civil, desde a seleção de atividades até o sequenciamento, alocação de recursos e avaliação de riscos, garantindo adaptabilidade e eficácia em diferentes contextos (SHEENA RAO; BIMAL NEPAL, 2015).

A exploração destas obras, que de alguma forma envolveram a implantação da metodologia da LB em processos produtivos, foi a base utilizada para a criação de um procedimento preliminar, com as etapas necessárias para a implantação da metodologia no segmento da construção civil, objeto desta investigação. As características principais destes estudos podem ser vistas no Quadro 02 que segue.

Quadro 02 – Caracterização geral dos estudos levantados na revisão da literatura acerca da implantação da LB em processos produtivos

Ano	Autores	Título	Atividade	Local da pesquisa	Resultados Principais	Limitações e Lacunas	Oportunidades	Contribuição
1984	Carter J.C., Silverman F.N.	Uma abordagem econômica para balanceamento de linha estocástico com reparos off-line	Produção Diversa	Estados Unidos	Melhoria da eficiência	Método testado apenas em uma indústria eletrônica, restringindo sua aplicação. O modelo matemático pode não ser escalável para problemas maiores, e não foi considerado o impacto da variação da demanda e das diferentes estratégias na linha de produção.	Potencial para se adaptar a diversas indústrias integrando abordagem de otimização de produção.	A entrevista com a equipe de produção identificou pontos de melhoria na produção (Etapa de entrevista para envolvimento dos profissionais)
1989	Karaa F.A., Touran A., Meserve R.L., Escobar G.	Gestão de operações no escritório de engenharia	Escritório de Engenharia	Estados Unidos	Melhoria do processo	A implementação pode demandar adaptações culturais podendo não ser adequada para todos os contextos, sendo necessário investigações adicionais para compreender como essas técnicas podem ser aplicadas em ambientes similares.	Técnicas de gerenciamento são versáteis podendo beneficiar a produtividade em diversos setores, não se limitando ao escritório de engenharia.	A inclusão de um profissional de compatibilização dos projetos organizou o fluxo de produção, que foi posteriormente tratado pelo projetista. (Profissional facilitador para integrar processos)
1996	Hamada T., Yamashita N., Mikami T., Hashimoto S.	Estimativa da eficiência operacional pelo método de balanceamento de linha para trabalhos de desbaste e enforcamento de espigas na aquicultura de vieiras	Aquicultura	Japão	Identificação de oportunidades de melhoria	O estudo ocorreu em um ambiente controlado, limitando sua aplicação a outros cenários, gerando a necessidade de pesquisas adicionais para confirmar os resultados em diferentes ambientes.	Potencial de aumentar a eficiência da operação e reduzir o tempo de processamento.	A divisão de serviços em grandes grupos de sequência para gerar a LB possibilitou identificar pontos falhos na produção e possibilidades de automação no processo. (Estruturação das atividades em grandes grupos)
2007	Munisamy S., Chen K.S.	Balanceamento de linha e melhorias de desempenho: Um estudo de caso de uma montadora de televisores	Eletrônicos	Malaysia	Aumento da produtividade	Pesquisa focada em uma única linha de produção de televisores, restringindo a aplicação e os resultados, portanto é importante conduzir estudos adicionais para avaliar como a Linha de Balanço funciona em diferentes contextos e ambientes.	Aprimoramento da eficiência e produtividade em várias indústrias e setores, resultando em redução de custos e aumento dos lucros.	A simulação do processo atual de produção por meio de uma LB identificou os pontos que poderiam gerar desbalanceamento da Linha de produção. (Etapa de simulação do processo)
2007	Björnfot, A.; Jongeling, R.	Aplicação de linha de equilíbrio e CAD 4D para planejamento enxuto	Construção Civil	Suécia	Melhoria na eficiência	O trabalho envolveu apenas uma obra, e com isso demanda outros estudos que explorem a aplicação da metodologia da linha de balanço e do software 4D CAD em outros projetos.	Investigação da aplicação da metodologia da linha de balanço e do software 4D CAD em diversos contextos e projetos.	A simulação da construção a partir da metodologia BIM apresenta pontos de conflito do projeto que precisam ser compatibilizados, porém a LB apresenta o fluxo de atividades e suas interferências, facilitando a interpretação. (Etapa de simulação do processo)
2012	Eswaramoorthi, M.; Kathiresan, G.R.; Jayasudhan, T.J.; Prasad, P.S.S.; Mohanram, P.V.	Balanceamento de linha baseado em índice de fluxo: uma ferramenta para melhorar a enxuta do projeto de linha de montagem	Linha de Montagem	Índia	Melhoria na eficiência	A ferramenta mostrou não ser apropriada para todas as indústrias, destacando a carência de estudos que explorem a aplicação da LB em ambientes de produção com alta variação do fluxo de entregas.	Foco na exploração da aplicação de ferramentas de LB em diversos tipos de processos de produção.	A divisão da produção a partir das estações de trabalho, proporcionou identificar os principais desperdícios da Linha de produção. (Estruturação das atividades em grandes grupos)
2013	He Q., Liu Y., Ma H.Y.	Pesquisa sobre o conceito 5s usado no balanceamento da linha de produção com base no método do gráfico de balanceamento de linha - linha de produção S como exemplo	Linha de Montagem	China	Redução de desperdício	Restrito apenas a uma linha de produção, limitando a capacidade de simulação de problemas diferentes em ambientes similares, sendo necessário explorar a aplicação para aprimorar continuamente as linhas de produção.	A aplicação do conceito de 5S tem potencial para ser explorada em outras indústrias, visando melhorar a eficiência e a organização dos processos de produção.	Para a criação da LB foi feito um mapeamento das atividades produtivas, possibilitando identificar os pontos falhos da produção e possibilitando uma oportunidade de melhoria. (Mapear os processos)
2014	Grzechca W.	Problema de balanceamento de linha de montagem com número reduzido de estações de trabalho	Linha de Montagem	Polonia	Redução de custo	A otimização da LB em uma linha de montagem com um menor número de estações de trabalho pode ser uma solução para reduzir custos de produção e aprimorar a montagem, o estudo não abordou outras variáveis como a disponibilidade de mão de obra e o layout da fábrica.	O estudo poderia ser complementado com análises adicionais que levem em conta outras variáveis relevantes para a otimização.	O mapeamento das atividades aliado às entrevistas com as equipes de produção quando da aplicação da LB, permitiu identificar oportunidades de melhoria de produção. (Mapear os processos e Etapa de entrevista para envolvimento dos profissionais)
2015	Rao S., Nepal B., Yadav O.P.	Melhoria da produtividade do chão de fábrica usando balanceamento de linha: um estudo de caso em uma empresa de manufatura	Fabricação	Estados Unidos	Melhoria na eficiência	O estudo ficou restrito em uma única empresa, limitando sua generalização. Além disso, o estudo não investigou a implementação de outras ferramentas Lean, além da LB.	O estudo pode ser reproduzido em outras empresas de fabricação.	A partir da criação da LB experimental foi possível identificar o tempo perdido com a logística na linha de produção, possibilitando estudar maneiras de reduzir o deslocamento interno. (Etapa de simulação do processo)

Ano	Autores	Título	Atividade	Local da pesquisa	Resultados Principais	Limitações e Lacunas	Oportunidades	Contribuição
2016	Lam N.T., Toi L.M., Tuyen V.T.T., Hien D.N.	Balaceamento de linha enxuta para uma linha de montagem de eletrônicos	Eletrônicos	Vietnã	Redução de custo	A implementação dos princípios do Lean Manufacturing e da LB exige investimento em treinamentos e adequação dos processos na empresa de eletrônico, há necessidade de novos estudos a fim de identificar outras áreas que possam se beneficiar destes princípios.	A aplicação dos princípios do Lean Manufacturing e do Balanceamento de Linha pode conduzir a melhorias na produtividade da linha de montagem na indústria de eletrônicos, resultando em redução de custos e aumento da qualidade do produto.	Ao montar uma lista com os principais defeitos dos produtos produzidos, foi possível retroagir a produção e identificar o que estava gerando tal defeito, com isso a LB foi desenhada para entender quais mudanças poderiam ser feitas na linha de produção. (Levantamento dos principais problemas de processo e Etapa de simulação do processo)
2017	Zhang L., Tang Y., Qi J.	Nivelamento de recursos com base na atividade de controle reverso na linha de equilíbrio	Construção Civil	China	Aumento da produtividade	A implementação da LB e do CBAC (Controle de Balanceamento de Atividades de Construção) pode demandar investimentos em treinamento e ajustes de processos, conduzindo estudos adicionais a fim de identificar outras áreas na indústria de construção civil que também possam colher benefícios com a aplicação desses métodos.	A aplicação do método LB e do CBAC pode resultar em melhorias significativas na eficiência do processo produtivo na construção civil, levando a uma redução de atrasos, retrabalho e custos adicionais.	O tempo de execução foi ajustado de acordo com grupos de atividades com o objetivo de entender e validar a sequência de trabalho. (Mapear os processos)
2018	Rachmawaty D., Karningsih P.D., Santos B.	Balaceamento bilateral da linha de montagem para minimizar o número de estações de trabalho considerando as relações entre as tarefas	Produção de Manufatura geral	Indonésia	Diminuição de etapas	O estudo ficou restrito a um modelo matemático, limitando sua aplicabilidade a outras indústrias que tenham processos distintos. Além disso, o estudo não explora o impacto da otimização da LB das linhas de montagem na qualidade do produto ou na satisfação do cliente.	Pode ser aplicada em outras empresas de produção que buscam aprimorar a eficiência operacional e reduzir os custos de produção.	Com o entendimento do funcionamento das estações de trabalho, foi possível melhorar o layout da produção e criar um dimensionamento mais adequado para as equipes de produção. (Mapear os processos)
2019	Aamer, Ammar M; Islam, Sri S	Controle de fluxo de material do Centro de Distribuição: uma abordagem de balanceamento de linha	Centro de distribuição	Indonésia	Otimização do fluxo	Falta de validação empírica em diversos contextos de centros de distribuição.	Soluções personalizadas para otimizar o controle do fluxo de materiais em vários contextos de centros de distribuição.	A separação das atividades de produção em grupos de tipos de produtos possibilitou um tratamento específico para cada atividade, permitindo gerar um fluxo contínuo para cada um. (Estruturação das atividades em grandes grupos)
2019	Wang, Ting; Fan, Ran; Peng, Yanjie; Wang, Xin	Otimização do problema de balanceamento de linha U de montagem de fluxo misto	Linha de Montagem	China	Melhoria na eficiência	Falta de validação do modelo e necessidade de validá-lo em diversos contextos de linha de montagem com fluxo misto.	Há a possibilidade de desenvolver soluções personalizadas para otimizar a eficiência de linhas de montagem com fluxo misto.	A partir das falhas recorrentes nos produtos, foi possível criar uma lista de verificação possibilitando monitorar a linha de produção e com o auxílio da LB identificar e propor melhorias para as equipes produtivas. (Levantamento dos principais problemas de processo)
2020	M H Kharuddin and M F Ramli	Uma revisão sobre métodos para melhorar e equilibrar a linha de montagem	Linha de Montagem	Malaysia	Melhoria na eficiência	Identificação de limitações e restrições dos métodos revisados, reconhecimento de setores podendo enfrentar dificuldades em sua aplicação, porém é uma área de pesquisa pouco explorada na literatura.	A discussão envolve oportunidades para melhorar os métodos existentes e criar abordagens. Além disso, inclui a identificação de tecnologias emergentes e tendências industriais que podem abrir caminho para melhorias na linha de montagem.	Foi necessário analisar todas as etapas de produção identificando as condições de trabalho e os tempos de produção com foco na qualidade final. O método baseou-se em entrevistas com as equipes produtivas e na análise dos equipamentos disponíveis. (Mapear os processos)
2022	Abdullah R., Abd Rahman M.N., Abdul Rasib A.H., Abdullah M.I.H.C., Mansoor H.O.	Balaceamento de linha de montagem baseado em simulação e alocação de mão de obra em um sistema de manufatura celular	Manufatura Celular	Malaysia	Ganho de desempenho	O modelo proposto tem limitações, incluindo a omissão da complexidade de processos de produção com alta variação, sua base foi sobre dados teóricos e a deixou de levar em conta os fatores externos.	Potencial de aplicação em outras indústrias de manufatura celular para aprimorar o desempenho da linha de produção e reduzir os custos.	Visando melhorar a produção, foi necessário entender a sequência de produção e as dificuldades de produzir, identificando assim pontos de melhoria. (Mapear os processos)
2022	Govender P., Dewa M.	Utilização do princípio kaizen e técnica de balanceamento de linha para melhoria de processos na montagem de componentes automotivos	Automotiva	África do Sul	Qualidade superior	A implementação dos princípios de Kaizen e da técnica de balanceamento de linha pode demandar um investimento substancial em treinamento de pessoal e modificações na infraestrutura. No entanto, o estudo não explora o impacto dessa implementação em outras áreas da empresa, como marketing e vendas.	A aplicação dos princípios de Kaizen e da técnica de LB pode ser estendida a outras empresas do setor automotivo e a outras indústrias que enfrentam desafios similares de baixa produtividade e qualidade inadequada.	A modernização da linha de produção passa por um mapeamento das estações de trabalho, o que permite unificar estações que se complementam. (Mapear os processos)

Fonte: Próprio autor (2024)

A síntese, dos trabalhos identificados na revisão da literatura e apresentados no quadro 01, apresenta evidências de procedimentos que foram utilizados para a implantação da LB na indústria. Estas práticas evidenciadas na literatura formaram a base para o desenvolvimento da proposta de um modelo inicial para a implantação da LB no segmento da construção civil.

A revisão da literatura teve como objetivo subsidiar a proposta de implantação da LB no segmento da construção civil, tomando como base os procedimentos adotados predominantemente na área industrial tradicional, como observado e apontado anteriormente.

Conforme se pode observar no Quadro 02, especificamente na coluna “Contribuições” que buscou extrair dos trabalhos os pontos de maior interesse e importância, para a implantação da LB nas empresas avaliadas, os itens destacados refletem os pontos de maior impacto para o sucesso da implementação da LB nas organizações investigadas.

De um modo geral os aspectos que foram mais citados estão listados a seguir seguidos do número de vezes que apareceram nos artigos selecionados, e estão dispostos em ordem decrescente da frequência:

- Mapear os processos (8)
- Etapa de simulação do processo (4)
- Estruturação das atividades em grandes grupos (3)
- Etapa de entrevista para envolvimento dos profissionais (2)
- Levantamento dos principais problemas de processo (2)
- Profissional facilitador para integrar processos (1)

O trabalho de Carter et al. (1984) revelou os benefícios que a consulta aos profissionais da área de produção traz para a melhoria dos processos quando da implantação da LB. Estes evidentes ganhos proporcionados com o maior envolvimento dos profissionais da produção quando das adaptações realizadas por conta da implantação da LB, levou ao estabelecimento de um procedimento de gestão que tornou obrigatório a criação de um ambiente de teste para cada atividade nova a ser implantada, ambiente este desenvolvido pelos profissionais mais experientes do processo de produção.

Este estudo revelou, portanto, a importância de se estabelecer uma etapa na implementação da LB, voltada a colher informações dos profissionais mais experientes e envolvidos com a atividade, e entender mais profundamente as necessidades das tarefas a serem executadas.

O trabalho de Fadi Karaa et al. (1988), em um escritório de projetos, mostrou os ganhos possíveis com a implantação da LB e atribuiu ao bom resultado que obteve, a criação de sequencias contínuas de trabalho para os profissionais, de tal maneira que os projetos fossem sempre para a próxima etapa, com o mínimo de correções. No processo de implantação da LB, os autores identificaram a necessidade de um profissional para compatibilizar o projeto entre as etapas, de modo a mitigar atrasos.

As equipes fizeram um levantamento onde cada líder de uma disciplina de projeto, tivesse seus projetistas em um revisor que apontava as falhas que deveriam ser solucionadas antes de o projeto passar para a próxima fase, com isso o próximo projetista poderia identificar as revisões e seguir a sua disciplina sem ter que auditar o trabalho anterior.

Uma das limitações à implantação deste procedimento foi a barreira cultural, pois muitos profissionais não gostaram de ter seu trabalho revisado antes da entrega, porém o valor começou a ser percebido com os resultados positivos com a nova sistemática. A construção civil tem muitas etapas sequenciais, sempre havendo a necessidade de liberação para o início de outro serviço, por tanto é um processo importante a se considerar na implantação da LB, no contexto e uma obra civil.

A automação de atividades manuais também foi considerada nos estudos, uma vez que tais atividades sempre são fonte de muita atenção e energia em sua gestão, além de passíveis de erros, como foi observado no trabalho de Hamada et al. (1996). A implantação da LB em atividades que demandam procedimentos manuais em larga escala, e que no caso se assemelham muito aos processos de construção civil, foi realizada considerando as observações dos profissionais que sugeriram rearranjar essas atividades em grandes grupos, dimensionando os profissionais e o tempo necessário para sua execução.

Ao fazer este rearranjo das atividades em grupos, denominados pelos autores de grupo de tarefas macro, foi possível identificar quais etapas poderiam passar por um processo de automação. Como a construção civil tem muitas etapas a serem executadas, é possível que a visão na LB seja prejudicada e dificulte a visualização do fluxo de trabalho, porém o uso da divisão de tarefas em grupos, possibilita uma melhor visão das informações da LB.

Outro aspecto que merece ser destacado é o desbalanceamento das linhas de produção, um desafio comum enfrentado por várias indústrias, e que pode levar a atrasos e baixa produtividade. O trabalho de Munisamy e Chen (2007) teve como foco a melhoria do desempenho de uma linha de produção de equipamentos eletrônicos, envolvendo a alocação equilibrada do trabalho entre as estações para reduzir o tempo.

Neste contexto, foi feito um levantamento de todos os requisitos do processo atual, para identificar a causa da baixa produção, ao levantar os requisitos e gerar o primeiro modelo da LB, foi possível identificar uma perda de tempo em deslocamentos dentro da fábrica. Identificou-se a perda de tempo entre as estações de trabalho e em deslocamento para a busca de insumos para produção.

A partir desta análise algumas medidas foram tomadas como a alteração do layout da linha de produção, possibilitando uma sequência de produção em fluxo contínuo, um planejamento de necessidade de produção dentro do período de trabalho, assim possibilitando que não falem insumos para a produção e a união de processos que são similares e dependentes, para que as peças em montagem do televisor saíssem como se fosse peças únicas entre estações de trabalho.

Na construção civil dependendo da configuração da obra, há grandes deslocamentos de insumos, e é necessário considerar na implantação da LB serviços que sofrem influência do deslocamento, a fim de minimizar o tempo perdido.

Björnfot e Jongeling (2007) estudaram a falta de eficiência na gestão do tempo e no planejamento, aspectos que, na construção civil, são uma preocupação comum que frequentemente resulta em atrasos e aumento de custos. As obras na construção civil têm por características muitos processos feitos de forma manual, sendo assim é necessário ter um planejamento que de sequência aos serviços de maneira a aproveitar a melhor produtividade.

Neste contexto o trabalho propõe uma abordagem das técnicas BIM usando um conjunto de softwares 4D CAD, para a criação do modelo e o dimensionamento das quantidades, aliado a LB para ser possível a identificação de maneira visual de possíveis problemas que possam surgir.

Ao utilizar estas ferramentas BIM aliadas a LB, buscou-se maior clareza das atividades de projeto para a equipe de campo, uma vez que os níveis operacionais possuem maior desenvoltura na execução das atividades, que na interpretação do projeto.

O trabalho evidenciou a facilidade visual proporcionada pela LB quando conferiu maior clareza a sequência de trabalho às equipes de campo, permitindo a retroalimentação do projeto com melhorias.

Eswaramoorthi et al. (2012), avaliaram o uso da LB na diminuição dos desperdícios de recursos em uma linha de montagem. A implantação da LB permitiu rastrear os principais desperdícios ao longo do processo de produção.

A pesquisa mostrou que a implantação da LB dividida por ambientes permitiu uma visão mais clara dos desperdícios. Cada uma das visões geradas pela LB apresentou oportunidades de melhoria no processo, característica essa que pode ser avaliada no contexto da construção civil, a depender.

He, Liu e Ma (2013), uniram a implantação da LB com o conceito da qualidade 5S, então o mapeamento não considerou apenas os processos de produção, mais também as práticas de 5S, desta forma priorizando um padrão de qualidade para produção. A implantação da LB busca tratar a falta de organização da produção, neste contexto mapear a sequência de atividades requer entender o tempo de produção destacando atividades críticas ao processo.

A LB em conjunto com o 5S se tornou relevante, pois identificou a causa da falta de organização da linha de produção que era ocasionado pela falta de processos definidos. Na construção civil muitas atividades diferentes são executadas, por isso fazer um mapeamento das atividades a serem executadas tem relevância para tomadas de decisão mais eficientes.

Waldemaergrazechca (2014) identificou que o mapeamento das atividades do processo de produção aliado às entrevistas com as equipes produtivas, aumentou o volume de dados para subsidiar a implementação da LB, permitindo identificar oportunidades de melhoria ao processo. A LB auxiliou na estratégia de redução de custo de produção, portanto um plano foi montado para identificar possibilidades de redução.

Inicialmente o estudo propôs o mapeamento das atividades, item utilizado em alguns estudos anteriores, na sequência utilizou da comunicação com as equipes produtivas para identificar dificuldades na produção e por fim estudou-se o layout de trabalho atual, possibilitando assim a geração das primeiras LB e seus primeiros resultados.

É importante ressaltar que neste ponto já é possível identificar pontos positivos utilizados em pesquisas anteriores, sendo mais bem aplicadas de maneira a buscar resultados parecidos com outros estudos, porém gerando dados novos de acordo com que as aplicações com a LB vêm sendo utilizadas. A construção civil visa executar seus projetos sempre com o menor custo possível claro mantendo qualidade do produto, portanto no uso da LB é importante ter critérios definidos de qual resultado quer se obter inicialmente.

No entendimento de Sheena e Nepal (2015) a criação de uma LB experimental do status atual da produção logística identificou perda de tempo, possibilitando estudar maneiras de reduzir o deslocamento interno, neste contexto entender os processos e suas particularidades auxilia na definição de estratégias visando aprimorar o processo.

Para atender demandas do mercado a implementação da LB emerge como uma solução estratégica, identificando ineficiências e entendendo os processos atuais, analisando os procedimentos operacionais, posteriormente analisaram-se os equipamentos e insumos disponíveis, ao gerar as primeiras LB identificou perda de tempo e desconhecimento da mão de obra gerando insegurança das equipes. Com muitas atividades na construção civil treinamentos periódicos são importantes inclusive da equipe de produção no entendimento e visualização da LB.

Segundo Lam et al. (2016) o desbalanceamento da linha de montagem é um problema crítico que pode resultar em tempos de espera, acúmulo de estoque, aumento de custos e atrasos na produção na indústria de eletrônicos. A preocupação dos autores quando da implantação da LB voltou-se a qualidade do produto, o que motivou a confecção de uma lista de falhas recorrentes, para a identificação de suas causas. O que chamou a atenção neste estudo foi o sentido utilizado para a implantação da LB, o qual foi implementado do fim para o começo da produção, identificando os pontos de melhoria e seus respectivos e possíveis impactos ao processo atual (simulação).

Os autores puderam observar que a LB neste contexto apresentou espaços livres que representavam folgas no processo, ocasionadas por falhas no dimensionamento dos recursos e por paradas dos equipamentos ao longo do dia. Aspectos semelhantes também foram observados no trabalho de Wang et al. (2019) o qual também envolveu atividades em linhas de montagem. Na construção civil, todos os serviços passam por uma inspeção final, porém se há uma falha em algum serviço o reparo é destrutivo, sendo necessário entender a causa para que o dano seja o menor possível e que ocasione pouco retrabalho.

Zhang, Tang e Qi (2017) constataram que falhas no desequilíbrio entre as capacidades instaladas versus as atividades planejadas em processos de construção civil são aspectos críticos que podem levar a atrasos, retrabalho e aumento de custos. A aplicação do método da LB e do Controle de Atividades para Trás (CBAC) segundo os autores mostrou ser uma estratégia adequada para esse desafio.

O desafio da implantação da LB enfrentado pelos autores foi superado com a criação de uma etapa inicial de simulação das atividades de construção como em um ambiente fabril de fluxo contínuo e sequencial. Esta simulação mostrou-se rica uma vez que evidenciou inúmeras dificuldades para o sucesso da transformação do processo original para um em fluxo contínuo.

Neste contexto os pesquisadores sugeriram um tempo de execução similar entre as atividades para obter um ritmo contínuo entre elas. As simulações iniciais com LB levantou o

ritmo das tarefas consideradas críticas e replicou para todas as outras tarefas não críticas, de tal forma que quando um serviço acabasse em um determinado local outro começaria no dia seguinte. Os tempos de produção foram sendo ajustados para que o ritmo fosse se aproximando de um mais contínuo, com isso as equipes foram dimensionadas para atender os prazos produtivos e os insumos também passaram por um planejamento detalhado para que não faltassem.

Rachmawaty, Karningsih e Santosa (2018) observou que o balanceamento inadequado das linhas de montagem pode impactar no número de estações de trabalho, conseqüentemente, no aumento dos custos. Os autores, então, se utilizaram, inicialmente, da técnica de simulação, mapeando o processo para melhor compreensão das reais necessidades dos recursos e de sua interdependência. A análise envolvendo simulação contou também com entrevistas com os profissionais envolvidos, para a geração de uma linha de produção mais balanceada.

Esta etapa mostrou-se muito positiva uma vez que permitiu um olhar mais crítico para a seqüência das atividades e revelou oportunidades de melhorias que acabaram por consolidar as atividades, eliminando redundâncias. Os resultados observados pelos pesquisadores foram o aumento da produção e a redução dos custos, devido a melhor utilização dos recursos, fato que ao final também acabou por impactar na saúde ocupacional dos trabalhadores e nos índices de acidentalidade.

Resultados semelhantes também foram apresentados por Kharuddin, Ramli (2020), Abdillah et al. (2022), e Govender e Dewa (2022) que analisaram igualmente o desbalanceamento em linhas de montagem industrial e relataram melhoria na produtividade do processo e na diminuição dos custos utilizando o mapeamento de processos como recurso principal para subsidiar a implantação da LB.

De acordo com Aamer (2019) separar as atividades de produtivas em pacotes de trabalho possibilitou um tratamento específico para cada atividade, permitindo gerar um fluxo contínuo para cada um.

O trabalho revelou importância de se analisar previamente o fluxo de produção, que neste caso revelou os motivos que restringiam o fluxo mais contínuo de produção, que neste caso se referia à montagem da carga nos caminhões de entrega. Centros de distribuições são caracterizados pelo alto número de atividades concomitantes, por isso o fluxo contínuo de atividades é importante para entender possíveis sobrecargas no processamento das tarefas.

A LB ao ser implantado visou o fluxo, o destaque da implantação, foi a criação de um processo de separação das atividades criando mais de uma LB de balanço para cada frente de

trabalho, por exemplo, tamanho dos pacotes, nível de fragilidade e valor agregado, com isso fluxos diferentes foram criados de tal forma que um equilíbrio foi obtido.

A análise da literatura revelou em síntese, que a evolução da LB e suas implementações, tomaram como base ações que permitiam inicialmente melhor compreender os processos de produção e remover suas limitações no sentido de permitir um fluxo mais contínuo dos processos. É importante destacar que, em vários estudos, as equipes envolvidas com as atividades produtivas tiveram papel importante nas tomadas de decisão tanto para planejar quanto para executar as ações propostas para a implementação da LB. Apesar das evidências, não foi localizado nenhum estudo que tivesse se dedicado a sistemática procedimental para a implantação da LB, aspecto este que reforça a justificativa desta investigação.

A implementação da LB enfrenta desafios, como resistência cultural, dificuldades na estimativa de tempos de ciclo, além de outros aspectos como a pressão por eficiência, que pode influenciar as equipes considerando o ambiente de trabalho, daí a necessidade de cuidado na abordagem dos envolvidos, por parte dos gestores (AAMER; ISLAM, 2019; HEGAZY; SAAD; MOSTAFA, 2020).

Outra fonte importante utilizada para o estudo da implementação da LB (LB), foi o trabalho de Rother e Harris (2002), que é uma produção voltada ao estudo do fluxo contínuo dos processos produtivo, e que considera como base os níveis dos processos existentes e o local onde a produção é executada, destacando o papel dos indivíduos envolvidos em cada etapa do processo.

Os autores destacam os passos importantes que devem ser considerados quando da busca pelo fluxo contínuo dos processos, e a necessidade de se compreender e identificar ferramentas que possam auxiliar na visualização de oportunidades de melhoria, com destaque para a LB.

Os autores apresentam a LB como uma ferramenta, que consorciada com outras da área de gestão, pode proporcionar maior integração entre as equipes envolvidas na atividade, por conta dos recursos didáticos de visualização.

Com base nas evidências bibliográficas levantadas até o momento, diversos pontos puderam ser identificados como sendo importantes para o planejamento da implantação de uma LB em uma atividade produtiva, como pode ser visto a seguir:

- **Análise Preliminar:** é fundamental realizar uma análise detalhada da linha de produção existente. Isso envolve a identificação de pontos falhos (GOVENDER; DEWA, 2022).
- **Definição de Objetivos Claros:** Definição de metas específicas para a implementação da LB, como aumento da produção, redução de custos e melhoria na qualidade (ABDULLAH et al., 2022).
- **Design da LB:** Planejamento da configuração da LB, distribuindo de forma equilibrada as tarefas considerando as estações de trabalho (KHARUDDIN; RAMLI, 2020; WANG et al., 2019).
- **Treinamento da Equipe:** Preparar a equipe para as mudanças, fornecendo treinamento, garantindo a compreensão adequada da estratégia planejada (RACHMAWATY; KARNINGSIH; SANTOSA, 2018).
- **Implantação Gradual:** Isso permite ajustes à medida que avança na produção (WANG et al., 2019).
- **Monitoramento Contínuo:** Acompanhamento próximo do desempenho em relação às metas, ajustando o que for necessário ao longo da evolução (LAM et al., 2016; ZHANG; TANG; QI, 2017).
- **Avaliação de Resultados:** Periodicamente avaliar os resultados, isso envolve a análise de indicadores-chave de desempenho (AAMER; ISLAM, 2019; GOVENDER; DEWA, 2022).
- **Identificação de Pontos falhos:** Identifique as áreas em que a implementação da LB teve sucesso e onde houve desafios. Isso ajudará a entender o que funcionou bem e o que precisa ser melhorado (SHEENA RAO; BIMAL NEPAL, 2015).
- **Aprimoramento Contínuo:** Com base na avaliação dos resultados, implemente melhorias contínuas na LB. Isso pode incluir otimizações no design, mudanças nos processos ou aprimoramentos no treinamento da equipe (AAMER; ISLAM, 2019).
- **Opinião dos Funcionários:** Ouça atentamente a opinião dos funcionários que trabalham com a LB. Eles podem fornecer informações valiosas sobre problemas não detectados e soluções potenciais (BJÖRNFOT; JONGELING, 2007).
- **Documentação e Padronização:** Documente os processos da LB de maneira clara e padronizada para facilitar a consistência e a replicação em toda a produção (TOMAR; BANSAL, 2019).

- Compartilhamento de Melhores Práticas: Promova uma rotina de compartilhamento de melhores práticas para que as equipes possam aprender umas com as outras e impulsionar melhorias contínuas (ABDULLAH et al., 2022).

A implementação da LB é um processo contínuo que demanda tempo e planejamento, mas que pode trazer resultados satisfatórios a médio e longo prazo, fato que foi mais bem observada no segmento da indústria metal mecânica em particular do segmento automotivo (AAMER; ISLAM, 2019; RACHMAWATY; KARNINGSIH; SANTOSA, 2018; WANG et al., 2019; ZHANG; TANG; QI, 2017). Embora desafiadora a implementação da LB, pode acarretar benefícios substanciais no que diz respeito ao controle de custos, redução de atrasos e melhoria da eficiência.

Torna-se crucial, portanto, estar preparado para lidar com imprevistos e adaptar-se de forma contínua às mudanças no projeto (LAM et al., 2016). O planejamento minucioso e a habilidade de monitorar e ajustar a LB desempenham papéis fundamentais na superação dos desafios associados a essa prática na construção civil (MUGENDIRAN; BABU; RAMADOSS, 2014).

Neste contexto, avaliar a literatura e o posicionamento da indústria no que diz respeito à implantação da LB, permitiu identificar as formas de implementação de um processo sequencial para o uso da LB, importante como recurso de visualização das etapas de trabalho e como estratégia de melhoria de processo. (ABDULLAH et al., 2022; GOVENDER; DEWA, 2022).

De forma geral e com base nos achados na literatura, as atividades associadas à implantação da LB, presentes em diversos segmentos da economia, partem inicialmente de um problema central do processo candidato a ter a LB implantada.

Desta forma, é possível criar uma estrutura preliminar para ser usada como padrão, adaptando conceitos de destaque da literatura, para que seja possível criar uma sequência inicial para implementação da LB:

- Identificação do problema ou tarefas;
- Detalhamento das etapas de análise;
- Identificação de recursos necessários;
- Entendimento do funcionamento produtivo;
- Simulação da realidade atual;
- Discussões e retroalimentação das etapas;
- Sugestão de melhoria;

- Simulação e controle de lições aprendidas

Os estudos predominantemente realizados no segmento industrial apontam que esse segmento, quando comparado ao da construção civil, se destaca por ter um perfil de trabalhador mais técnico e mais aberto a mudanças (WANG et al., 2019), fato que deve ser considerado quando se trata de implementar mudanças tecnológicas no sistema de produção, como é o caso da LB (SHEENA RAO; BIMAL NEPAL, 2015).

A implementação da LB na construção civil, especificamente na construção de um edifício residencial de múltiplos pavimentos, pode ser um processo complexo, mas altamente benéfico para aumentar a eficiência e o controle do projeto.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Esta investigação de natureza prescritiva tem como propósito detalhar o procedimento de implantação da LB no segmento da construção civil, em particular no planejamento e execução de projetos caracterizados por processos repetitivos como edifícios residenciais de inúmeros pavimentos.

A investigação tomou como base de dados a revisão da literatura, a consulta a especialistas e a empresas especializadas na gestão de processos, e em casos reais de planejamento e execução de obras de uma empresa de grande porte situada na cidade de Ribeirão Preto/SP e com mais de 30 anos de experiência no segmento de edifícios residenciais de alto padrão.

A etapa de investigação, voltada ao levantamento de evidências sobre a aplicação da LB no segmento da construção civil, teve inícios com a consulta a especialistas e a empresas especializadas de gestão de processos. A empresa de construção, objeto de estudo da investigação recebeu um treinamento do sistema LEAN de produção focado na construção civil e a LB foi uma ferramenta apresentado, despertando a atenção do setor de planejamento.

Com a consultoria LEAN foi possível vivenciar várias melhorias no processo de construção, com detalhamento das atividades produtivas, buscando aprender com o que já era feito pela construtora. Sob a orientação da empresa de treinamento LEAN mudanças no processo de produção foram propostas e o planejamento foi fundamentar no apoio as mudanças, buscando traduzir os dados para todos os envolvidos na produção devido as dificuldades de compatibilização das ações de planejamento com as de execução.

Com isso, o setor de planejamento ao verificar tal mudança decidiu estudar sobre a LB, incorporando ao planejamento as etapas da execução que apresentava evolução resultado dos treinamentos LEAN.

De forma sucinta, o processo metodológico de coleta de dados que norteia esta pesquisa foi dividido em três partes distintas:

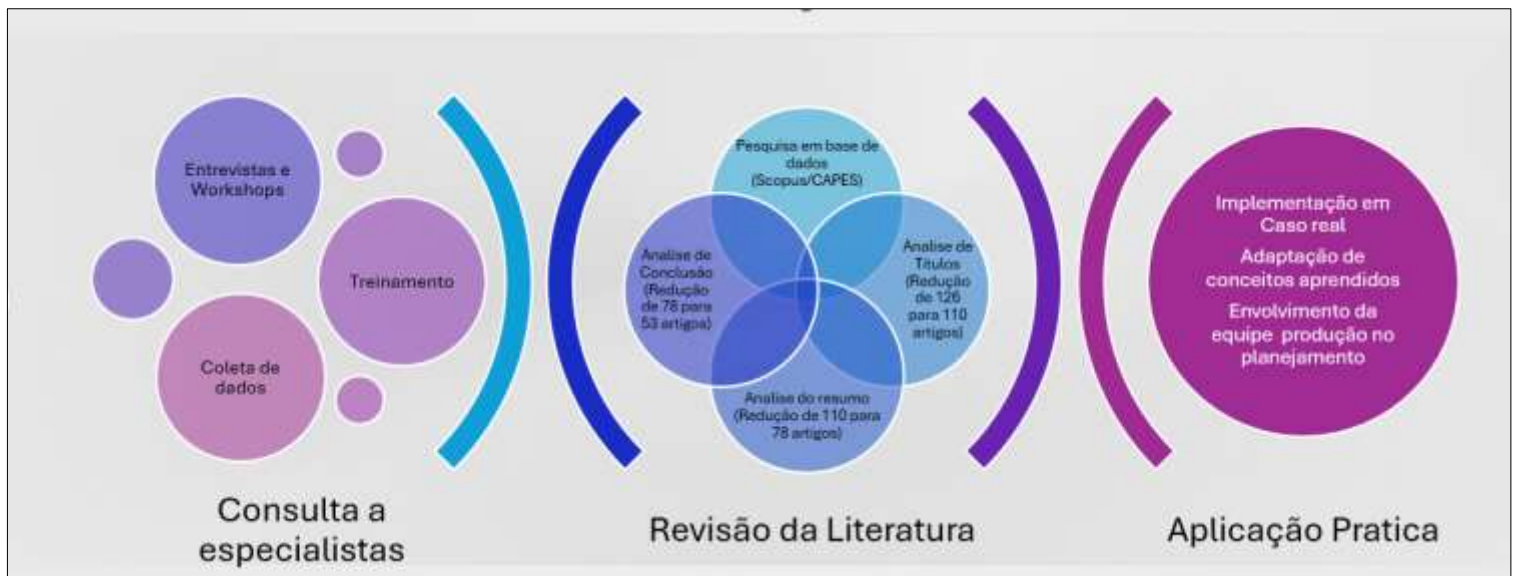
a) consulta a especialistas e a empresas especializadas da área de gestão de processos a respeito da implantação de melhorias de processo em particular dos conceitos Lean/ LB;

b) revisão da literatura para estabelecer o estado da arte no que diz respeito aos procedimentos de implementação da LB no contexto da construção civil. Este processo permitiu compreender as melhores práticas e tendências atualizadas relacionadas à aplicação da LB neste segmento;

c) implementação da LB em um caso real, para avaliação e aprimoramento da sistemática procedimental proposta. Esta etapa tem o objetivo de refinar o modelo proposto, especificamente, nas etapas de planejamento e execução das atividades em uma situação real.

A situação escolhida como caso real para a implantação da LB seguindo o modelo proposto foi a construção de um empreendimento vertical de 30 pavimentos na cidade de Ribeirão Preto/SP. É de se esperar que situações como essa em que o modelo possa ser submetido a condições reais, promovam o enriquecimento e o refinamento da proposta, além de ilustrar suas limitações e oportunidades no ambiente específico e em condições realistas. De um modo geral os procedimentos adotados na pesquisa podem ser mais bem visualizados na Figura 02 a seguir.

Figura 02 – Fluxograma de etapas de pesquisa



Fonte: Próprio autor (2024)

A consulta aos especialistas da área de gestão ocorreu por meio dos serviços de treinamento prestados por uma empresa especializada, composta por gestores profissionais e docentes de uma Universidade pública do estado de São Paulo. A consulta a esses especialistas teve como propósito identificar a existência de alguma ferramenta capaz de gerar a LB de forma automática.

O parecer dos especialistas da empresa de treinamento revelou que, o que existe no mercado são ferramentas de uso complexo e limitado, dificultando a inserção dos dados e a análise dos resultados; em diversos casos modelos matemáticos também são encontrados, porém voltados a situações muito particulares.

Com isso, a empresa de treinamento decidiu apresentar, de forma mais prática, a operacionalização de uma LB, o que levou a equipe de planejamento da construtora, a buscar aprimorar a ferramenta com base nos referenciais disponibilizados no treinamento.

A revisão da literatura foi conduzida usando as bases Scopus e Periódicos Capes, com a palavra-chave "Line of Balance" (LB), limitando a pesquisa aos últimos 10 anos. Isso resultou em 75 artigos na Scopus e 523 nos Periódicos Capes.

No entanto, ao analisar os títulos, resumos e introduções, apenas 2 artigos da Scopus e 5 dos Periódicos Capes abordavam o uso da LB na construção civil, com foco na modelagem matemática, o que não se alinhava com o objetivo desta pesquisa.

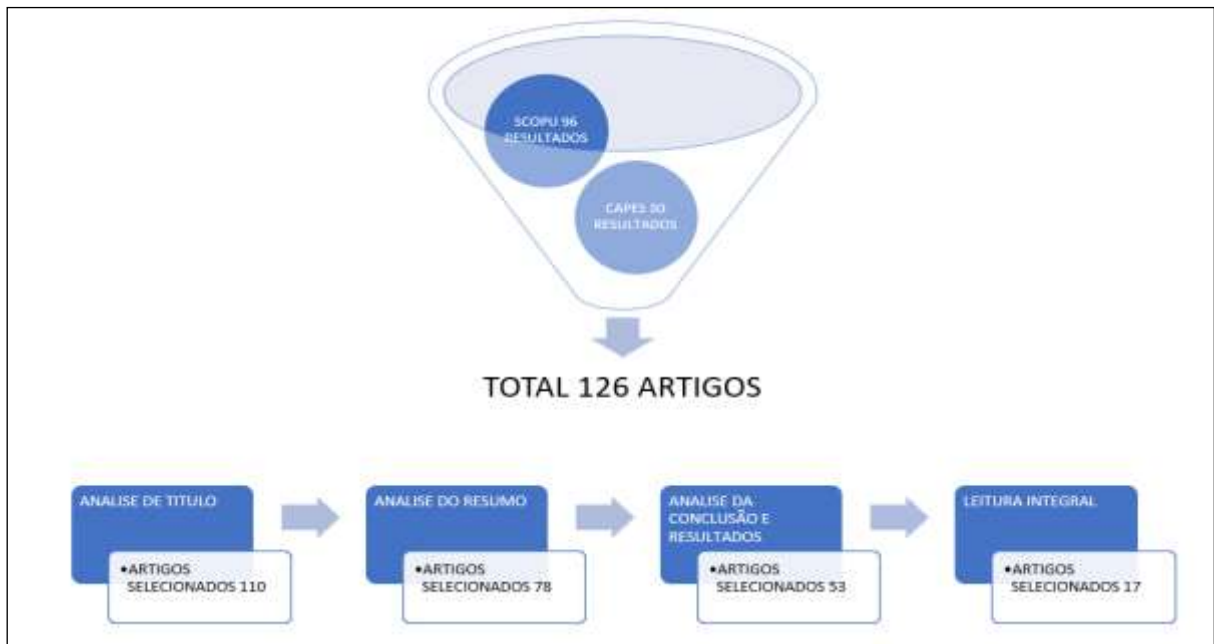
Para superar essa limitação, expandiu-se a busca nas mesmas bases, adicionando as palavras-chave "productivity" e "improvement" à busca por "Line of Balance", sem restrições de tempo. Isso resultou em 96 artigos na Scopus e 30 nos Periódicos Capes, totalizando 126 publicações.

A sequência de análise para a seleção dos artigos foi feita considerando primeiramente a análise do título do trabalho, neste momento 16 artigos foram excluídos, pois o conceito LB também é usado na área de saúde humana, medicina veterinária, que diferem do foco de produção que é o que busca a pesquisa, selecionando aqueles que traziam elementos de produtividade ou aplicação como foco da pesquisa, resultando em 110 artigos que continuaram para a próxima etapa de seleção.

Segundo passo foi a leitura do resumo para poder identificar a motivação do autor, nesta etapa 32 artigos foram excluídos, pois não tinham foco na implementação, tinham focos mais definidos em criação de modelos matemáticos e de uso compartilhado com outras ferramentas apenas medir entregas e não o processo de produção, resultando em 78 artigos selecionados para a próxima etapa.

O terceiro passo foi a leitura na conclusão e resultados encontrados, buscando lacunas que pudessem ser semelhantes a esta pesquisa, com isso 25 artigos foram excluídos, o quarto e último passo foi a leitura na íntegra para poder entender a forma de trabalho abordada, com isso 35 artigos foram excluídos, resultando em 18 artigos que serviram de base para esta pesquisa.

Tal sequência de escolha dos trabalhos como referência se dá no esquema da figura 03 a seguir.

Figura 03 - Esquema de busca e seleção

Fonte: Próprio autor (2024)

No que diz respeito ao desenvolvimento do estudo de caso, ele se baseou inicialmente na construção de um edifício de 30 pavimentos em Ribeirão Preto (SP); a obra teve início em 2019 e término em 2022, totalizando 42 meses de construção, e pode ser aplicado e otimizado em outras obras. O interesse do autor se dá pelo treinamento LEAN na construtora e na busca por elementos para desenvolver a LB. O autor desta pesquisa que é coordenador de planejamento, orçamento e controle de custos da construtora, teve o interesse em 2020 de iniciar o mestrado profissional, vindo a ingressar no programa no ano de 2021 em busca de auxílio científico para obter subsídio da literatura para a aplicação e aprimoramento da LB em casos reais. Os procedimentos de implantação da LB no planejamento deste empreendimento foram orientados pela literatura de Rother e Harris (2002), suporte da empresa de treinamento LEAN e a base de conhecimento adquirido no mestrado profissional. Com isso os primeiros conceitos para entender e montar os testes para LB foram possíveis, gerando uma dinâmica de aprendizado e aplicação do conceito aprendido e adaptado à construção civil.

4 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS (resultados preliminares)

Esta seção tem o objetivo de apresentar ao seu final, os procedimentos adotados para a implantação da LB no segmento da construção civil, no setor de planejamento e controle de obras de edifícios de alto padrão, com características de repetibilidade, assim como o desempenho operacional e gerencial alcançados pela empresa, com a implantação da técnica.

Como apresentado na seção de metodologia, esta pesquisa foi desenvolvida em 3 etapas:

1. O levantamento de dados iniciais (consulta a especialistas) que resultou na indicação da LB como técnica mais apropriada para solução do problema apresentado (dissonância entre planejamento e execução de obras civis);
2. Levantamento bibliográfico acerca do tema, que levou a identificação das principais práticas para a implantação da LB no segmento da construção civil, e por último.
3. A implantação da ferramenta LB em um ambiente real, para depurar os procedimentos identificados a priori, assuntos esses que serão abordados nas subseções a seguir.

Esta seção está dividida em 4 subseções para melhor apresentar os resultados, e tomará como estratégia de apresentação, a evolução cronológica das ações executadas pelo pesquisador desde 2019.

4.1 Contexto e concepção inicial da LB (primeira aplicação)

O aquecimento, do setor da construção civil e o aumento da competição nos últimos anos, levou muitas empresas a buscarem meios mais eficientes de gestão para elevarem seu nível de competitividade no mercado. Esse foi o caso da empresa avaliada nesta pesquisa, que procurou se capacitar nas melhores práticas de gestão para que pudesse diminuir seus desperdícios e com isso seus custos, e dimensionar de modo mais assertivo seus prazos.

A empresa objeto deste estudo, como forma de encurtar o processo de aprendizado nas melhores práticas de gestão, decidiu pela contratação no ano de 2018 de uma empresa de consultoria Lean, com experiência comprovada no segmento da construção civil. A empresa contratada possuía em seu quadro funcional engenheiros, administrados, professores

universitários (universidades públicas) e profissionais ligados à tecnologia de materiais na construção civil.

A primeira ação realizada pela empresa de assessoria foi o mapeamento do processo de negócio, com ênfase em suas rotinas de projeto, etapas de execução e entrega do produto ao cliente, para a identificação dos pontos de melhoria. A empresa de assessoria, após o mapeamento de todo o processo, apresentou os pontos fortes e fracos de cada um dos procedimentos avaliados, e com o auxílio de treinamentos específicos para capacitação dos profissionais da empresa em ferramentas de gestão, gerou cenários juntamente com a equipe envolvida, e apresentou o estado atual de cada etapa e as perspectivas futuras de cada uma, considerando as condições de maior eficiência produtiva.

Em função dos potenciais ganhos que poderia ser conquistada, a empresa passou a incorporar tais procedimentos às suas rotinas de práticas de gestão, que ganharam consistência à medida que os treinamentos passaram a ser também incorporada à rotina dos profissionais da empresa. A empresa experimentou uma melhora significativa em sua produtividade, ao longo dos anos de 2018 e 2019, oriundas dos ajustes e principalmente da inteligência de execução, característica essa que teve como fundamento o fortalecimento do espírito de planejamento e preparação antes da execução, fato que apesar de parecer óbvio era em grande parte negligenciado, mas passou a ser valorizado por conta dos resultados obtidos, em especial da maior eficiência.

Muito embora os resultados de uma forma geral tenham melhorado, um aspecto importante do processo de gestão continuava a comprometer a estratégia de melhoria contínua da empresa, a comunicação entre os setores de planejamento e de execução. A falta de compreensão por parte das equipes de produção (execução) a respeito dos recursos e prazos estabelecidos pelo setor de planejamento se apresentava como um grande limitante para a melhoria dos processos. A apresentação às equipes operacionais, dos recursos e prazos, estabelecidos pelo setor de planejamento era feita em MS PROJECT da MICROSOFT, um software criado para auxiliar na execução de projeto.

A empresa, em função das características de seu produto (edifícios residenciais de inúmeros pavimentos) conta com longo lead time, da ordem de 42 meses, compostas por inúmeras etapas e marcos em seus projetos, com demandas específicas para cada momento. A complexidade do planejamento, e em particular, seu detalhamento, da forma como eram realizadas, não eram compreendidos plenamente por parte da equipe operacional,

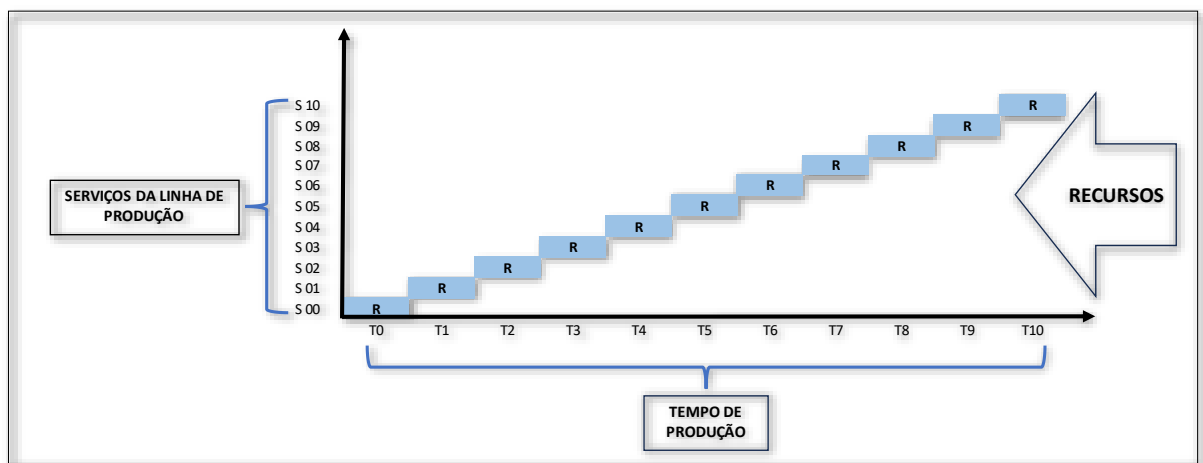
compreendida pelo engenheiro residente, mestre de obra, equipe administrativa, encarregados e equipe de execução.

A empresa tinha por padrão realizar o planejamento com o gráfico de Gantt no Microsoft Project (MS Project), que em função do grande número de detalhes característico do produto, dificultava o entendimento da equipe de produção, especificamente os de nível operacional, limitando a integração das equipes. Esta situação comprometia o nível de confiança da equipe, e a compreensão das estratégias de produção da empresa, limitando a participação ativa dos envolvidos no projeto, e transformando o processo de gestão em apenas uma conferência de datas, aspecto este muito aquém das reais demandas do planejamento.

Essa limitação de comunicação foi apresentada a empresa de assessoria que sugeriu à equipe de planejamento avaliar o uso da técnica LB, por ser um recurso mais intuitivo para se compreender processos complementares, e que de forma resumida, se baseava na apresentação sequencial das atividades ao longo de uma linha do tempo. Inicialmente a equipe de planejamento buscou informações sobre a LB, como aplicações no setor da construção civil, empresas que já empregaram a técnica em seus processos de produção e seus resultados.

Na indústria tradicional, a representação gráfica da LB posiciona as atividades ao longo do eixo vertical do gráfico. O serviço que marca o início da linha de produção é colocado na parte inferior, e as demais atividades são dispostas acima, em sequência a partir desse ponto inicial. O tempo é representado ao longo do eixo horizontal (eixo X), como exemplificado na figura 04 que é uma ilustração adaptada pelo autor a partir da contribuição da obra de Rother e Harris (2002), que mostra como os serviços e o tempo devem ser representados.

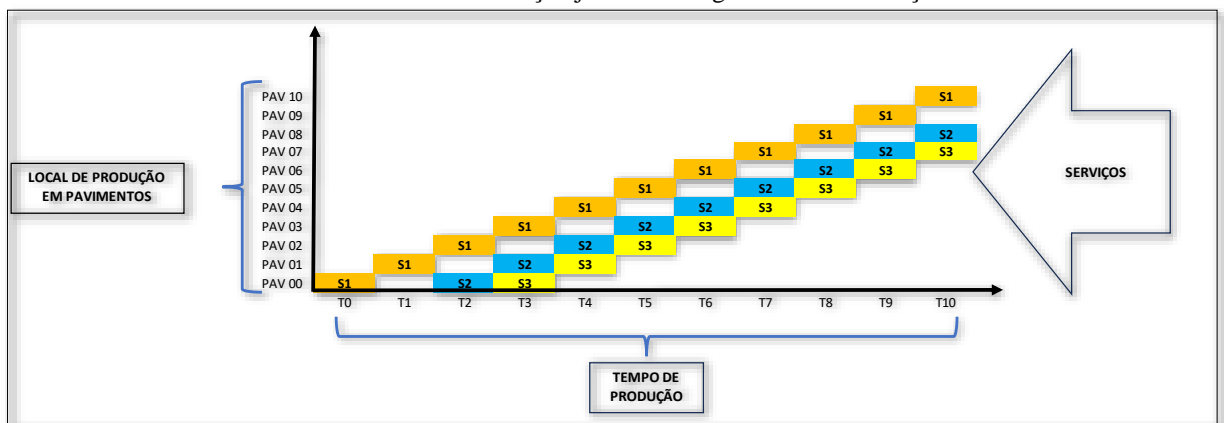
FIGURA 04 – Linha de balanço tradicional



Fonte: Adaptação feita pelo próprio autor da obra de Rotter e Harris (2002).

O dinamismo no segmento da construção civil sugere a alteração da representação vertical e horizontal na LB. A representação se dá definindo o local que eles vão ocorrer no eixo vertical, mantendo o tempo no eixo horizontal, o que resulta na distribuição dos serviços ao longo da LB. No caso em questão, optou-se por alocar os andares no eixo vertical, iniciando-se do mais baixo na parte inferior, para o mais alto na parte superior da ilustração, mantendo-se no eixo horizontal, as datas para efeito de visualização e compreensão da duração e da sequência dos serviços conforme pode ser observado na figura 05 que é uma adaptação do autor usando a configuração de um edifício de múltiplos andares.

FIGURA 05 – Linha de balanço ajustada ao segmento da construção civil



Fonte: Próprio autor (2024)

Os achados desta busca revelaram que as empresas que utilizavam a LB na construção civil, tinham por prática isolar as atividades consideradas críticas e desenvolver uma LB apenas para estas atividades, apresentando uma informação direta e pontual do que poderia atrasar o término do projeto. Apesar de ser uma solução, essa prática supunha que todos soubessem o que teria de ser feito, e já tivessem conhecimento das restrições, caso contrário, outros serviços não considerados críticos poderiam se tornar críticos, fato que foi um aprendizado para a equipe de planejamento.

A equipe de planejamento passou então a buscar por softwares, que com alguma configuração pudessem aproveitar os arquivos do MS PROJECT e gerar a LB. Embora à época, alguns softwares tenham sido testados, softwares estes que estavam sendo comercializados com o objetivo de substituir o MS PROJECT, prometendo entregar melhor visibilidade e praticidade na implementação da LB, eles revelaram ser limitados sob diversos aspectos como processamento, capacidade e retroalimentação do que poderia ser um replanejamento.

Face às limitações apresentadas tanto por parte das práticas identificadas nas empresas que empregavam a LB na construção civil, quanto dos produtos (softwares) que poderiam vir a substituir o sistema em uso da empresa, a equipe de planejamento entendeu que uma nova direção deveria ser seguida, a do desenvolvimento próprio da LB, configurada para as características da empresa. O apoio da empresa de assessoria foi importante para a localização de cases e referências (artigos e livros) que levassem a uma maior compreensão de como seria construir uma LB e implantar nas rotinas do planejamento. Foi sugerida a obra de Rother e Harris (2002), que apresentava de forma prática a construção da uma LB em um ambiente industrial, assim como sua consolidação.

O domínio dos conceitos básicos a respeito da LB, adquiridos com o material indicado pela empresa de assessoria, permitiu à equipe aproveitar melhor o planejamento realizado no MS PROJECT, usando adaptações, o que deu origem a primeira LB da empresa, que será aqui denominada de LB1, referência essa que remete a primeira iniciativa da empresa.

A obra escolhida para o primeiro teste de implantação da LB1, denominada Cidade de Vancouver, foi escolhida por reunir características necessárias para o estudo, características como:

- A quantidade elevada de pavimentos;
- O elevado número de repetição dos serviços ao longo dos pavimentos;
- Elevada simultaneidade entre os serviços;
- Tempo de execução longo;
- Necessidade de fluxo de trabalho contínuo.

Além das características da obra, o Cidade de Vancouver foi a que recebeu as primeiras intervenções de melhorias sugeridas pela assessoria LEAN, o que auxiliou na melhora de produtividade, organização e credenciamento para experimentar a elaboração da LB. A obra estava com 25% de seu planejamento executado à época, sendo um edifício alto de 32 pavimentos composto por unidades residenciais (4 apartamentos por andar) área de uso comum, térreo e 3 subsolos na cidade de Ribeirão Preto (SP).

A obra citada anteriormente, e considerada referência neste trabalho, iniciou sua etapa de planejamento no ano de 2018, usando como ferramenta de suporte, o gráfico de Gantt e o software Microsoft Project, como era usual proceder.

O pesquisador, que neste caso era também um dos responsáveis pelas atividades de planejamento, acolheu a sugestão da empresa de assessoria Lean, e adotou como diretriz para

implantação inicial da LB1, as proposições apresentadas na obra de Rother e Harris (2002), sabidamente voltadas a área industrial. A principal contribuição da obra de Rother e Harris (2002), foi identificar as principais atividades que dariam suporte a montagem de uma LB1, as quais foram adotadas pelo pesquisador na obra referência citada (Cidade de Vancouver).

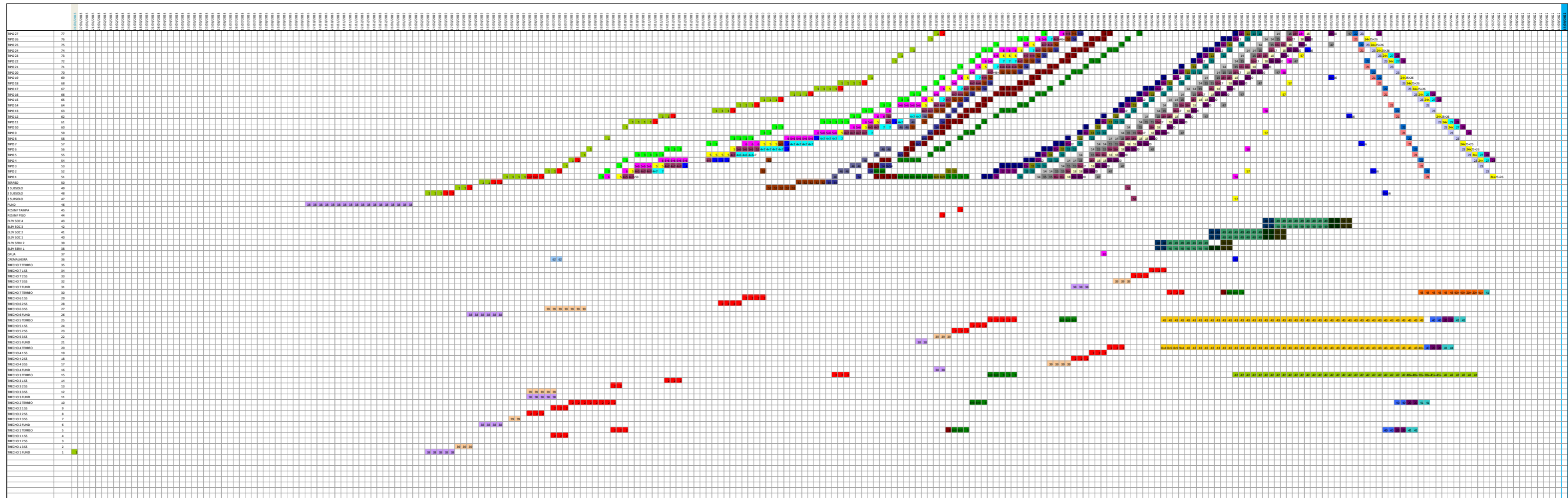
A partir do resultado das atividades foi possível representar de forma gráfica a primeira LB1 desenvolvida pela equipe de planejamento da empresa conforme figura 06 a seguir.

É possível notar que a LB1, ficou muito poluída de informações, pois o alto nível de detalhamento do projeto gerou sobreposição de várias atividades, dificultando o entendimento de onde cada serviço iniciava e/ou terminava. Outro ponto que é importante ser destacado é o nível hierárquico entre as atividades, na forma de representar qual atividade deve ser destacada quando há sobreposição entre elas. Importante ser destacado que há muitos espaços vazios na LB1 que foi gerada, fato que pode levar a dúvidas se seria folgas ou se seriam serviços não identificados, gerando assim a necessidade de incluir mais serviços para dar clareza ao entendimento quanto à sequência de execução.

Com a evolução da implementação da Linha de Balanço (LB1), as reuniões de aprimoramento passaram a contar com a participação dos profissionais de produção, como o mestre de obra, os encarregados e a equipe de engenharia da obra. A participação dos profissionais de produção foi fundamental no processo de aprimoramento da LB, uma vez que puderam avaliar e manifestar suas impressões a respeito da forma como o planejamento da obra era apresentado. Nestas ocasiões, o pesquisador adotou a estratégia de expor o planejamento tanto na forma tradicional, com o MS PROJECT da Microsoft, quanto por meio da LB que havia sido concebida (LB1), buscando envolver os participantes na ação de melhorar o compartilhamento e a compreensão das informações.

Com a presença das equipes de produção e engenharia, foi possível avaliar as formas de representação do planejamento e o entendimento que tais equipes tinham do formato atual e das vantagens que a LB1 poderia oferecer para uma melhor compreensão do planejamento. Com isso foi notado um interesse inicial das equipes pela LB1, pois alguns serviços foram identificados de forma rápida e clara pela equipe de produção, serviços estes que tinham como característica a liberação de frentes de trabalho. A presença de profissionais que não tinham um contato, ou melhor, um conhecimento das etapas de planejamento, permitiu a discussão por demandas da produção que eram desconhecidas ou negligenciadas.

Figura 06 - LB1 Linha de Balanço referente a 1ª. implementação (LB1)



Fonte: Próprio autor (2024)

O processo de comunicação entre as equipes de produção e de planejamento permitiu discutir as necessidades de alteração ou inclusão de etapas de trabalho ao processo de planejamento dos serviços da obra, pois com a LB1 foi possível visualizar as etapas e identificar lacunas que representariam ganhos em potencial na produção, aspecto este que não seria visualizado facilmente com o MS PROJECT. Esta ação proporcionou um pensamento mais estratégico no planejamento da produção, já que neste momento o planejamento pela LB1 priorizou os serviços que já haviam apresentado resultados com a aplicação do Lean Construction, e os serviços do caminho crítico do cronograma (caminho este que se houver atraso pode comprometer o prazo do projeto), permitindo maior detalhe das atividades.

Vale ressaltar também o envolvimento de outros níveis hierárquicos no aprimoramento da ferramenta, incluindo a coordenação de obra (um nível hierárquico superior aos engenheiros) e a diretoria (um nível hierárquico superior à coordenação), pois conforme o nível hierárquico da construtora era preciso solicitar recursos específicos para a execução do plano gerado a partir dos estudos feitos pela LB. Neste ponto as equipes de produção, engenharia e planejamento, identificaram os serviços detalhados na LB1, buscando entender a sequência ideal de execução e os impactos gerados a partir desta análise, com o objetivo de mitigar interferências na produção, como sobreposição de serviços nos andares. Esse exercício de enxergar a sequência ideal das atividades, com o envolvimento de todos, e seus impactos, foi considerada crucial para o sucesso da implementação da técnica, uma vez que suportaria as justificativas de prováveis mudanças do planejamento, que seriam dadas aos níveis hierárquicos superiores (coordenação e diretoria), que eram os tomadores finais de decisão.

A concepção, mesmo que incipiente da LB1 gerou um aprendizado inicial da equipe de planejamento, permitindo ser avaliado pelos profissionais de nível operacional da obra, que auxiliavam com conceitos práticos o aprimoramento da ferramenta. A avaliação da LB1 por parte da equipe operacional, apontou 2 aspectos importantes da técnica: um positivo, que destacou a grande utilidade das informações que foram apresentadas, e outro negativo, que limitou sua compreensão, pela falta de clareza, justificada pela elevada quantidade de atividades em um único gráfico. Era de costume os profissionais de nível operacional receber tarefas da engenharia em um documento com um recorte temporal mais reduzido (semana, mês, bimestre etc.), onde o planejamento das atividades estava na mão das equipes mais técnicas (engenharia e planejamento). A LB1 possibilitou visualizar vários serviços do caminho crítico do projeto e suas sobreposições em um único ambiente (documento), no entanto, era necessário ser mais claro. Os profissionais da área de planejamento, considerando as dificuldades e sugestões

apresentadas pela equipe operacional, avaliaram as necessidades e remodelaram a ilustração que representava a sequência das atividades, segmentando a obra. Como era um gráfico que considerava todos os pavimentos e as datas, foi necessário criar uma segmentação da obra separando etapas como a torre (onde a maioria dos serviços tinha uma grande sequência), periferias (partes específicas do térreo e subsolos) e fachada do prédio (toda a pintura externa da torre). Para que fosse possível identificar as interferências de uma etapa na outra e buscar um sequenciamento sem que a obra pare. A segunda versão da LB1 foi bem avaliada pela equipe operacional, que demonstrou maior compreensão do processo de planejamento e maior nível de engajamento e pertencimento, em função de sua participação mais consistente, o que pode ser notado pelas informações importantes que essa equipe forneceu sobre prazo, serviços que são executados e a sequência de execução que seria mais apropriada.

Ao término das primeiras iniciativas de implantação da LB1, e com base no que havia levantado em termos de conhecimento sobre ela, o pesquisador identificou a ausência de um procedimento padrão, mesmo que genérico, sobre as etapas procedimentais para a implementação da técnica na construção civil. Além disso, foi possível avaliar que a implantação da LB1 na obra Cidade de Vancouver, abriu uma série de discussões no campo da estratégia dos serviços, sendo necessário estudar as sequências de trabalho e seus respectivos prazos, buscando aprimorar a produção e considerar apenas o necessário para o planejamento das atividades. Sendo assim a LB necessitou de mais estudo para que sua implantação fosse uma ferramenta complementar na tomada de decisão das equipes de produção e planejamento.

Apesar da implantação inicial da LB1 ter sido caracterizada como sendo exitosa; o pesquisador identificou a falta de material mais consistente que pudesse subsidiar, mesmo que teoricamente, a implantação da técnica. A lacuna que se apresentou motivou o profissional da área de planejamento a buscar por apoio mais científico, que pudesse dar mais consistência ao processo de implantação da LB, e maior aderência à realidade atual de planejamento da empresa, fato que o levou a um Programa de Mestrado Profissional na área de Engenharia de Produção.

A obra Cidade de Vancouver mostrou a necessidade de uma ferramenta que pudesse complementar o gráfico de Gantt do MS Project, e aumentar a sintonia entre as equipes de planejamento e execução, uma vez que o nível de confiança nas informações vindas do planejamento era baixo, fundamentalmente por conta da falta de integração dos profissionais que não dispunham de compartilhamento adequado e ágil para as atualizações que se fizessem necessárias.

4.2 Implantação com base na literatura (segunda aplicação)

A implantação da LB1, como visto no item anterior, baseou-se nas orientações gerais da assessoria e no material referência por ela indicado e apresentou benefícios concretos nos níveis operacionais e de planejamento. No entanto, para que essa prática pudesse ser incorporada de forma consistente, o aprofundamento em seu conhecimento se fez necessário, fato que foi identificado pelo coordenador de planejamento da empresa, e pesquisador responsável por essa investigação.

O aprofundamento teórico aplicado acerca da técnica veio com a decisão do coordenador de planejamento de buscar auxílio científico em um programa de mestrado profissional na área de Engenharia de Produção.

O coordenador do planejamento da empresa e agora discente pesquisador da área de gestão de processos e projetos, identificou através da revisão sistemática da literatura sobre o tema, implantação da LB na construção civil, que pouca era a profusão da literatura científica acerca dos processos e detalhamento da implantação da LB no segmento da construção civil.

Como já apresentado em seções anteriores, a revisão da literatura evidenciou a ausência de trabalhos que tratassem dos aspectos procedimentais para a implantação da técnica LB, se restringindo aos ganhos de sua aplicação e a modelagem matemática dos processos. Essa realidade não se aplicava ao segmento industrial tradicional, que apresentou farta bibliografia sobre a implantação da técnica. Essas evidências tomavam como base a linha de produção de uma indústria tradicional, com pouca variabilidade em seus processos comparado ao setor da construção civil, caracterizado pela simultaneidade de atividades.

O exercício do pesquisador foi de adaptabilidade à sua realidade (produção de edifícios residenciais de múltiplos pavimentos), dos procedimentos de implantação da técnica da LB, fartamente apresentados para o segmento industrial tradicional.

A análise da literatura revelou aspectos importantes que devem ser considerados antes da implantação da LB, como a definição clara do que será executado e onde será executado, aspecto este que proporciona maior alinhamento entre o planejamento e a execução em função da maior consistência das informações compartilhadas, pois é a partir deste diálogo que é possível identificar pontos de melhoria na produção.

A revisão da literatura também permitiu identificar uma estrutura preliminar que fosse apropriada para a implantação e desenvolvimento da LB no segmento da construção civil, e em

particular, no atendimento às necessidades de uma construção de edifícios altos, que representasse o caso em estudo.

A estrutura preliminar definida através da revisão da literatura, e que foi implementada, consiste em 8 etapas como já apresentada na seção 2.2, e será aqui exposta novamente para efeito didático:

- Identificação do problema ou tarefas;
- Detalhamento das etapas de análise;
- Identificação de recursos necessários;
- Entendimento do funcionamento produtivo;
- Simulação da realidade atual;
- Discussões e retroalimentação das etapas;
- Sugestão de melhoria;
- Simulação e controle de lições aprendidas

A seguir serão apresentadas todas as etapas, como foram implementadas pelo pesquisador no ambiente real, e as adaptações que se fizeram necessárias neste processo, considerando os avanços alcançados a partir da primeira tentativa descrita no subitem anterior e as características situacionais que o ambiente apresentou.

Como descrito anteriormente, o pesquisador iniciou os procedimentos de implantação da LB1 em um empreendimento que já estava em construção, denominado Cidade de Vancouver, apresentado na subseção anterior (4.1). Esse primeiro empreendimento, sofreu intervenções e experimentou a implantação da LB com base na obra de Rother e Harris (2002) e nos subsídios da empresa de assessoria.

O ingresso do pesquisador no PPGEP/Uniará o colocou em contato com uma gama maior de evidências científicas que o levaram a estruturar de forma mais consistente os procedimentos de implantação da LB, uma vez que a experiência anterior, apesar de exitosa, apontou para a falta de um processo sistemático e padronizado que pudesse levá-lo a replicar o processo de implantação no setor.

Com a estrutura procedimental obtida da revisão da literatura, no ano de 2021, e citada anteriormente, o pesquisador decidiu por colocá-la em prática em um novo empreendimento, com as mesmas características básicas do anterior, aproveitando o conhecimento conquistado na primeira iniciativa, e as limitações impostas pelo cenário atual.

Como a primeira LB (LB1) na obra Cidade de Vancouver obteve boas impressões e sugeriu novas discussões sobre o sequenciamento dos serviços e o detalhamento das etapas representadas na LB, a empresa decidiu ampliar o estudo da LB para seu novo projeto, e sugeriu que se implantasse a técnica na obra conhecida por Cidade de Ouro Preto, que estava em fase inicial de construção, dando aqui origem a segunda implantação da LB, denominada de LB2, seguindo a terminologia adotada inicialmente.

A obra Cidade de Ouro Preto consistiu no projeto de um edifício de alto padrão com 29 pavimentos, composto por apartamentos (sendo 4 apartamentos por andar), térreo e 2 subsolos. Tinha as características necessárias para a implantação de uma LB (LB2), assim como a obra referência que foi pioneira:

- A quantidade elevada de pavimentos;
- O elevado número de repetição dos serviços ao longo dos pavimentos;
- Elevada simultaneidade entre os serviços;
- Tempo de execução longo;
- Necessidade de fluxo de trabalho contínuo.

A LB1, usada na obra Cidade de Vancouver, tomou como base a obra de Rotter e Harris (2002) e casos de aplicação sugeridos pela assessoria Lean, e teve boa aceitação e interesse das equipes de planejamento e obra. Em função desta aceitação, o pesquisador e a empresa decidiram replicar a técnica em outro projeto da construtora chamado Cidade de Ouro Preto, que tomou como ponto de partida os ganhos de aprendizagem proporcionados pela LB1. A decisão de replicar a técnica e aprimorá-la em um novo empreendimento foi motivada também por conta dos avanços científicos obtidos pelo pesquisador na revisão bibliográfica realizada no programa de mestrado profissional, culminando com a geração de uma nova LB (LB2).

As etapas e seus respectivos detalhamentos são apresentados a seguir com o propósito de esclarecer quais ações foram realizadas. Este detalhamento visa servir de orientação procedimental para futuras implantações, considerando que o resultado que se espera desta investigação é justamente uma sequência procedimental que possa servir de referência para tal finalidade.

Etapa 01 – Identificação das tarefas: esta é a etapa que define como a LB será representada, pois a identificação das tarefas a serem executadas deve passar por uma análise buscando a síntese do detalhamento das atividades, com o objetivo de unir pacotes de trabalho de tal forma que a LB não tenha um grande volume de atividades a serem representadas,

minimizando seu nível de detalhamento e com isso aumentando a clareza do projeto como um todo. A literatura indica que sempre que um projeto for desenvolvido para ser representado pela LB ele deve ter o máximo de clareza possível, ou seja, ser representado de forma a facilitar a compreensão da sequência das atividades a serem executadas.

Na primeira implantação da LB (LB1 - obra Cidade de Vancouver) a ideia foi representar o caminho crítico do projeto, visando o entendimento do fluxo de trabalho atual, a fim de entender o que poderia ser um problema até então. No entanto, muitos serviços à época, demandaram informações adicionais como a representação das atividades antecessoras e sucessoras, para que sua interrelação pudesse ser mais bem equacionada na estratégia de execução futura. No caso da LB2 (obra Cidade de Ouro Preto), essa limitação de identificação das tarefas, foi superada com o auxílio de um grupo de serviço, uma forma de codificação de serviços similares e ou complementares que sintetiza e agrupa as atividades, tornando mais simples sua representação, usando como referência o código do plano de contas da construtora que definia serviços de um mesmo grupo de trabalho para a classificação dos custos do projeto, como por exemplo, o grupo de revestimento interno de parede que compreendia as atividades de reboco em paredes e revestimento cerâmico em paredes internas, sendo assim serviços de grupos semelhantes recebia o mesmo código que no final gerou 31 códigos diferentes, facilitando a identificação dos serviços por grupo de trabalho.

A literatura define que a identificação das atividades deve considerar os pacotes de trabalho, o que não foi feito na LB1 (obra Cidade de Vancouver), que considerou apenas o caminho crítico, uma sequência de atividades, sem definir grupos de trabalho. Este fato foi corrigido na LB2 (obra Cidade de Ouro Preto), e foi identificado que o plano de contas que era comum as equipes de obra e de planejamento, reunia grupo de serviços, fato que permitiu criar os pacotes de trabalho auxiliando na identificação dos serviços na LB2. Com isso, foi possível identificar onde os recursos deveriam ser alocados para a continuidade do trabalho.

Etapa 02 – Detalhamento das etapas de análise: Com o objetivo de localizar onde cada tarefa é executada, o detalhamento serve como um organizador do tempo e dos recursos. Ao se identificar as tarefas a serem executadas, é esperado que elas tivessem um prazo e uma sequência até serem findadas. Na LB1 (obra Cidade de Vancouver) o foco principal foi os serviços do caminho crítico, localizados exclusivamente na torre (parte principal da obra civil), o que acabou por limitar a visualização de interferências de outros serviços que precisam ser executados. A construtora em estudo, normalmente divide a obra em partes como torre, fachada e periferia, sendo:

- Torre: Corpo do prédio
- Fachada: Lado externo da torre
- Periferia: Toda área externa a projeção da torre no térreo e subsolos

Uma das implicações da estratégia utilizada na LB1, qual seja, o de analisar apenas o caminho crítico da torre, limitou a visualização de outras ações nos trechos de periferia, acabados, e que estariam aptos a receber a instalação de equipamentos para a execução de atividades subsequentes, a exemplo do reboco externo da fachada, fato este que levou ao atraso da execução do serviço considerado no térreo e subsolo. Já a LB2 (obra Cidade de Ouro Preto), essa limitação foi superada, uma vez que o detalhamento já havia sido concebido com a divisão de etapas determinadas, como visto na etapa 1, facilitando a movimentação dos recursos.

Os serviços que não estavam detalhados na Torre do edifício ficaram separados pelo seu local de execução determinado, por exemplo, existia o serviço de Alvenaria na Torre (apartamentos) e na periferia (área externa do prédio que compreende subsolos e térrea). Na periferia do prédio estes serviços eram detalhados pelos trechos de execução e pelos pavimentos, podendo ser executados juntos ou não, o que gerava a necessidade de atenção para estudar este nível de detalhamento, pois quando os serviços seguiam separados, era fácil identificar e controlar, porém quando os serviços eram executados em todos os trechos de uma vez em um mesmo pavimento, gerava confusão nas equipes de produção, pois outros serviços dependentes tinham seu início antecipado ou atrasado, gerando assim uma informação duvidosa para quem analisava a LB2.

Uma característica deste tipo de produto (edifício) e segmento (construção civil), é que há etapas que podem ser executadas simultaneamente, o que demanda um nível maior de detalhamento para que seja possível criar ambientes de trabalho, dotados de recursos e meios que os permitam realizar suas atividades sem interferências, possibilitando identificar as frentes de trabalho para cada equipe. O aprofundamento do nível de detalhamento permitiu analisar a montagem da LB2, ao ponto de criar subdivisões gerando entendimento de serviços que poderiam gerar retrabalhos no processo e planejamento, como por exemplo, a criação de duas pinturas internas, uma para parede e outra para o teto, onde a pintura de paredes era executada imediatamente após o reboco das paredes internas para a garantia do acabamento e também a abertura de frente de serviços para execução dos revestimentos de parede, na sequência era executado a instalação do forro de gesso, com as montagens das estruturas e na sequência era executada a pintura do forro (teto), já com os revestimentos instalados e podendo corrigir qualquer dano nas paredes geradas por tais instalações. Aos olhos de quem analisa foram

criadas mais etapas de trabalho na obra, podendo gerar atrasos na entrega, porém uma equipe para fazer estes arremates já existia e tinha que fazer tais retoques de forma corrida e sem critério gerando baixa qualidade nas entregas.

Etapa 03 – Identificação dos recursos necessários: esta etapa chama a atenção para a importância da programação do uso dos recursos nos ambientes laborais, tendo como base a rotina que envolve as atividades operacionais (execução) e de seus respectivos espaços. Essa programação é importante para que haja sintonia entre os recursos produtivos a serem utilizados (mão de obra e equipamentos), minimizando o desperdício de tempo na localização de materiais e equipamentos por parte dos profissionais envolvidos na atividade. A identificação dos recursos permite que se criem rotinas de solicitação dos recursos e conseqüentemente sua destinação. Na LB1 (obra Cidade de Vancouver) este aspecto foi pouco explorado, pois à época os profissionais de produção estavam mais preocupados com a execução correta e com as oportunidades de redução de prazo, em detrimento do planejamento dos recursos, que passaram a ser identificados praticamente quando do momento de seu uso, elevando a ineficiência dos processos. Por ocasião do desenvolvimento da LB2 (obra Cidade de Ouro Preto), a identificação dos recursos fosse feita através da inclusão de marcos delimitadores, onde cada serviço tinha um tempo específico para solicitar e contratar seus respectivos recursos. No entanto, como a LB2 era uma linha maior e contava com um nível elevado de detalhamento, estes marcos delimitadores iniciais começaram a se perder na informação, dificultando a identificação. Por conta das limitações de complexidade que esse procedimento (marcos delimitadores) apresentou, os profissionais envolvidos na implantação da LB2 acharam por bem utilizar uma ferramenta auxiliar ao planejamento para executar essa etapa.

Etapa 04 – Entendimento do funcionamento produtivo: a identificação das tarefas e de seu detalhamento, juntamente com os recursos associados (1º Passo, 2º Passo e 3º Passo) permite aos profissionais uma melhor compreensão da seqüência de execução das atividades e dos pontos de melhoria do processo, assim como avaliar o melhor uso para os equipamentos. O entendimento sequencial das atividades, assim como suas interrelações e os recursos que demandam, é uma etapa importante, principalmente pelas características dimensionais, equipamentos de grande porte, e temporais, tempo determinado para sua utilização, que determinados equipamentos dispõem. A experiência vivenciada pelos profissionais da execução durante a implantação da LB1 (obra Cidade de Vancouver) permitiu que gerassem insights para melhor execução dos serviços, o que permitiu, por exemplo, a troca de atividades de serviços hidráulicos com os serviços elétricos, para que não houvesse conflito entre elas na

execução. Estes insights permitiram um primeiro desenho de uma sequência ideal de execução das etapas de serviço, que foi inserida na LB2 (obra Cidade de Ouro Preto), o que permitiu identificar padrões, e assim sanar toda e qualquer dificuldade de visualização das etapas. A LB2 gerou um gráfico com informações de forma sequencial, considerando a execução de forma prática como acontecia no canteiro, com isso foi possível identificar situações complexas como, por exemplo, as últimas lajes da torre por terem configurações diferentes das outras lajes, demandam prazos maiores na sua execução, porém os serviços que vem na sequência não tem o aumento de prazo na sua execução, pois os profissionais estão em ritmo e conseguem garantir os prazos de entrega, com isso gera uma grande simultaneidade de profissionais nos últimos andares do prédio, sendo assim dificultado a terminalidade de alguns serviços.

Etapa 05 – Simulação da realidade atual: Ao entender o funcionamento do planejamento e a forma de construir a LB, foi possível simular a LB inicial, sendo possível analisar o que foi pensado inicialmente para a obra Cidade de Vancouver (LB1), possibilitando visualizar pontos de atenção ao planejamento e atividades que tinham muita ou pouca relevância para as equipes de execução. A simulação usou a Linha de base do projeto, criada no início do planejamento. Com a simulação do estado atual do projeto, alguns itens chamaram a atenção pelo alto volume de serviços simultâneos sendo executados, outro ponto já citado no passo 04 foi a desmontagem dos equipamentos onde eles saiam antes de serviços cruciais finalizarem, gerando dificuldades de produção, dificuldades como por exemplo serviços que necessitavam finalizar para que o equipamento de transporte e material pudesse sair. A simulação gerou discussões necessárias para a sequência do projeto, com isso LB consegue gerar um aprendizado e a necessidade de se buscar soluções pensadas ao projeto. Na obra Cidade de Ouro Preto (LB2), foi possível criar uma seção de equipamentos, exatamente, vinculadas aos serviços que liberam a sua desmontagem, além de ter um desenho da sequência ideal foi possível simular a saída dos equipamentos e quais serviços eram necessários para sanar possíveis danos gerados, como por exemplo, o elevador cremalheira instalado externamente no prédio só poderia ser desinstalado quando os dois primeiros elevadores definitivos do prédio fossem instalados, qualquer atraso destas etapas poderia gerar atrasados no acabamento da fachada no trecho onde o elevador cremalheira estava instalado, se acabamento da fachada era impossível instalar as janelas de alumínio e vidro, sem a instalação das janelas era impossível instalar as portas de madeira internas dos apartamentos com isso gerando atraso em todos os acabamentos internos do apartamento. Com o conhecimento das interferências era possível simular a antecipação de serviços para que fosse possível antecipar toda a cadeia relacionada a instalação dos primeiros

elevadores definitivos, a simulação dos serviços e seus impactos na obra, apresentavam o que era possível fazer e o que não poderia ser feito. Com isso, várias discussões foram geradas evoluindo para soluções como, por exemplo, fazer o tratamento dos poços dos elevadores o mais cedo possível. Também gerou a consulta ao projetista dos elevadores a possibilidade da contratação de equipamento sem casa de máquina, pois com isso as intervenções em um local denominado casa de máquina eram menores gerando agilidade na terminalidade dos itens necessários para liberar a instalação dos elevadores definitivos.

Etapa 06 – Discussão e retroalimentação das etapas: Com a simulação da LB2, foi possível determinar um padrão de análise, pois se existir a necessidade de alteração nas atividades, será feito um estudo que de clareza nas solicitações, a fim de apresentar soluções de acordo com a demanda apresentada. A discussão apresenta a importância da definição de uma sequência padrão de construção, que pode ser ajustada de acordo com a complexidade que o projeto apresentar. A discussão apresenta a necessidade de se usar a experiência, dando voz às equipes de produção, dando a oportunidade de que eles possam apresentar as necessidades e dificuldades encontradas a cada serviço, com o foco de replanejar as atividades a fim de gerar fluxo contínuo dos serviços, sugerindo metas que podem ser alcançadas. Com a evolução das discussões, foi possível aumentar o nível de credibilidade das informações gerado pelo planejamento, sendo uma informação trazida de acordo com as necessidades do canteiro. A obra Cidade de Vancouver, referente a LB1, teve discussões focadas na necessidade de término da obra, ajustando os prazos dos serviços do caminho crítico visando usar melhor o tempo proposto, com foco na disponibilidade de tempo. Porém na obra Cidade de Ouro Preto, referente a LB2, as discussões evoluíram no que diz respeito a execução dos serviços, pois a cada atividade planejada, logo se analisava os impactos nos serviços que vinham antes e depois, possibilitando uma imersão nas soluções possíveis para tentar reduzir o tempo sem perder a qualidade das entregas.

Etapa 07 – Sugestões de melhoria: Com a evolução do conhecimento dos serviços a serem executados foi possível atualizar a LB2, detalhando os pontos abordados pela equipe de produção e planejamento para melhor visualizar a dependência entre as tarefas. O aumento da confiabilidade das informações, e do aprendizado das equipes, promoveu uma maior cobrança entre elas, e entre os serviços dependentes, além de gerar oportunidades de ganho a exemplo da antecipação de algum serviço em uma situação de folga observada. Um procedimento importante que os gestores passaram a incorporar à rotina de trabalho, foi a roda de discussão, que tinha por objetivo avaliar a efetividade da estratégia apresentada, com a sugestão de

possíveis ajustes que se fizessem necessários para as próximas iniciativas. As sugestões envolveram tanto aspectos da forma visual da LB, quanto da capacidade de detalhamento dos serviços, possibilitando observar o comportamento deles, gerando previsões e serviços futuros e impactos na estratégia de execução, como por exemplo, os serviços de alvenaria externa, é um componente da arquitetura do prédio, mas também funcionam como um equipamento de proteção coletiva evitando queda de materiais e dando mais segurança aos trabalhadores, porém são ligadas pela arquitetura as paredes internas, sendo assim é importante observar os impactos da execução o mais cedo possível das alvenarias externas e quais ligações é necessárias deixar prontas para que ela se conecte as alvenarias internas sem trazer danos patológicos futuros ao projeto. Na LB1 (obra Cidade de Vancouver), as sugestões de melhoria se pautaram mais no layout da técnica, tornando-a mais amigável para a observação dos serviços planejados, replicando as melhorias de execução sempre que identificada alguma inconsistência por parte da equipe de obra, como serviços com prazos incoerentes com a realidade, serviços antecipados sem algum critério, podendo gerar desembolsos desnecessários. Porém na LB2 (Cidade de Ouro Preto), foi possível incorporar atividades de acordo com que os serviços são executados, gerando assim uma informação mais útil e confiável para a equipe de obra, sendo possível esboçar uma sequência ideal de produção, com o objetivo de ter um padrão de execução e poder preparar o canteiro para poder receber e aplicar os recursos de forma organizada, sem que o recurso espere para ser utilizado.

Etapa 08 – Simulação e controle de lições aprendidas: Ao se tornar algo do dia a dia da equipe de produção, a LB começou a nortear a produção e com isso gerou oportunidades junto as equipes, de uma nova sequência produtiva, sequência essa que seguia o formato de um vagão de trem, onde os serviços eram executados em sequência, e se um por algum motivo não conseguisse entregar o serviço finalizado no tempo determinado, possivelmente ele impactaria toda a cadeia sequencial. Essa sequência chamada de “ideal”, veio sendo construída a cada reunião de atualização de planejamento, considerando sempre o planejado do período e a capacidade de executar as metas futuras da equipe de obra. Servindo como uma correção de rota, o controle das lições aprendidas se tornou subsídio para a implantação da LB em outros projetos, sendo alterada sempre que necessário, de acordo com a tipologia do projeto ou se algum serviço gerou um problema em obras passadas e necessita de mais atenção ao ser planejado, porém o grande foco de aprendizado da LB é buscar o menor tempo de obra possível de acordo com as atividades que devem ser executadas. A LB1 (obra Cidade de Vancouver) apresentou um formato de sequenciamento, porém apresentou folgas que poderiam ser

preenchidas com serviços de pouco valor agregado, porém que se não fossem feitos impactaria em serviços de alto valor agregado, serviços como colocação de caixas elétricas na alvenaria, são serviços de baixo valor agregado, porém se não executados impedem que a parede seja finalizada, esse foi um dos serviços que ficaram fora da LB1. Já na LB2 (obra Cidade de Ouro Preto), o foco foi criar uma sequência que tivesse o mínimo de interrupção possível, pois serviços com fluxo contínuo auxiliam no tamanho das instalações de canteiro e armazenamento de materiais, possibilitando o trabalho com estoques controlados e destinação para a execução o mais breve possível. Em determinados momentos as instalações de canteiro recebem muitos recursos e o gerenciamento se torna difícil, por outro lado, com uma sequência ideal de execução é possível estimar este momento (pico de recursos) e preparar o canteiro para essa demanda, contribuindo desta forma para o atendimento às normas de segurança do trabalho, à vigilância sanitária e à prevenção de combate a incêndio.

Com o apoio da literatura foi possível identificar um padrão de implantação da LB, usando os processos consolidados na indústria tradicional e ajustando a melhor prática na construção civil. A literatura trouxe evidências que permitiram evoluir no entendimento da LB e em sua aplicação na construção de edifícios, de forma específica no desenvolvimento de processos mais ativos de atualização das ocorrências nas obras, aumentando assim a participação das equipes operacionais nas atividades de planejamento. Com o uso da LB foi possível identificar pontos falhos da execução e vislumbrar uma sequência contínua para ela. No entanto, por mais que tenha sido possível estruturar uma sequência ideal, a LB2 (obra Cidade de Ouro Preto), trouxe a necessidade de discussão de processos antes negligenciados pela área de planejamento, obrigando as áreas a conversarem e entender as interferências do projeto e estudando alternativas de como poderiam ser sanadas.

4.3 Depuração dos procedimentos identificados na literatura (terceira aplicação)

Esta subseção tem o propósito de apresentar a terceira aplicação da LB na construção civil, especificamente na empresa em estudo e em edificações que guardam similaridades de projeto, para manter a homogeneidade das condições de implantação da técnica. A subseção, em ordem cronológica e sequencial, fará um breve relato para resgatar as ações e ganhos advindos das iniciativas anteriores, antes de dar início ao detalhamento da implantação da LB em um novo projeto (obra Cidade de Zurique), técnica que será aqui denominada de LB3.

A evolução da gestão da produção dos serviços de construção da empresa auxiliou no desenvolvimento de uma cultura organizacional mais voltada a padronização de processos, criando etapas de serviços mais estruturadas, o que fez com que as obras tivessem um padrão de execução mais bem definido. Essa cultura baseada em princípios Lean passou a envolver outros projetos, tornando as atividades de execução em campo mais padronizadas, inclusive os estudos de planejamento e custos.

Na subseção 4.1 foi apresentada a primeira iniciativa de estruturar as atividades de campo em uma LB, trabalho que teve apoio de uma empresa de assessoria especializada em Lean, que apresentou a técnica LB e como ela poderia ajudar os profissionais envolvidos a compreender melhor as atividades de planejamento. A primeira iniciativa de implementar a LB, que recebeu o nome de LB1, foi no projeto de um edifício chamado de Cidade de Vancouver, o qual já estava em andamento e incorporando os primeiros aprendizados do Lean construction. Esta implementação tomou como base os princípios da LB usada na indústria tradicional, buscando entender como a informação trazida pela LB, auxiliava nos processos de produção e qual era a dinâmica entre implantação e controle das atividades do planejamento, com isso foi possível adaptar o que foi entendido da análise da LB na indústria para o que era necessário apresentar de informação na construção civil. Como o planejamento da LB1 já havia sido definido, a partir da criação da LB foram encontradas inconsistências no planejamento que geravam dúvidas para a equipe de execução, o que exigia uma avaliação do que poderia ser feito, já que poderia ocorrer alteração do término do projeto. O primeiro resultado relevante desta implantação que vale o destaque é a participação das equipes de produção na montagem e evolução da estratégia planejada, o que aumentou o nível de confiabilidade das informações compartilhadas entre as equipes.

A seção 4.2 apresentou uma etapa evolutiva da implantação da LB, a partir da iniciativa anterior e do embasamento teórico obtido com a revisão da literatura, no âmbito de um programa de pós-graduação *stricto sensu*. Esta fase foi de grande importância por conta das evidências científicas levantadas sobre a implantação da LB no segmento da construção civil, comprovando a falta de estudos descritivos da implantação da técnica no setor estudado. Está evidente carência de estudos descritivos na área da construção civil, não se aplicava a área da indústria convencional, fato que levou a pesquisa a adotar a estratégia de buscar adaptar a técnica com base nas aplicações realizadas no segmento industrial tradicional. Com isso a obra Cidade de Ouro Preto, que neste trabalho recebeu a denominação de LB2, foi mais uma iniciativa de aplicação da LB, diferenciando-se da iniciativa anterior, pelo fato de ser implantada

numa obra que estava em estágio mais de desenvolvimento, o que permitiu a criação de uma rotina de planejamento de prazo mais longo, alcançando soluções e recursos com antecedência significativa quando comparada a primeira iniciativa, e permitindo análises mais eficientes dos pros e contras dos serviços planejados.

Sendo assim, o autor analisou o desenvolvimento da LB na indústria convencional e buscou adaptar as melhores práticas identificadas para a construção civil, com o objetivo de ter subsídio técnico-científico para implantar a LB em edifícios de alto padrão e analisar os resultados que ela pode gerar.

O pesquisador usou o caso real da obra Cidade de Vancouver para implantar a primeira LB (LB1), com o apoio da assessoria Lean, e em seguida, com o conhecimento adquirido na Pós-graduação, implementou a segunda aplicação em outro caso real, a obra Cidade de Ouro Preto (LB2) que teve uma evolução no campo da estratégia, mitigação de impactos e definição de uma sequência de execução ideal. Com os ganhos adquiridos nas 2 iniciativas citadas anteriormente, o pesquisador teve a oportunidade de refinar os procedimentos para implantação da LB no segmento da construção civil, e usou para isso um terceiro projeto sob o nome de Cidade de Zurique, que deu origem assim a denominada LB3 como já citado antes.

A estratégia adotada nesta subseção para apresentar o refinamento da técnica e o aprimoramento dos procedimentos para implantação de uma LB no segmento da construção civil tomará como padrão a apresentação dos passos procedimentais como utilizados na subseção anterior, e suas atualizações e críticas, materializadas na forma dos seguintes itens: pontos positivos, pontos negativos e sugestões de melhoria.

Assim sendo, a seguir será detalhado cada passo novamente, como foram apresentados e definidos na seção 4.2.

1º Passo – Identificação das tarefas: Com o alto nível de detalhamento de serviço dos projetos é necessária a construção de pacotes de trabalho, onde eles funcionam como uma forma de síntese dos serviços assim podendo dar destaque as atividades. Na LB1 (obra Cidade de Vancouver) o foco foi o caminho crítico, deixando vagas interferências de outros serviços, porém na LB2 (obra Cidade de Ouro Preto), houve uma melhora no detalhamento dos serviços com a necessidade de dividir visualmente as etapas. Com isso o planejamento incorporou a LB, como sendo uma ferramenta de auxílio ao planejamento, que gera de forma clara uma dinâmica visual resumindo a informação de forma a gerar entendimento a um maior número de pessoas envolvidas no projeto. A partir do interesse das equipes de obra e equipes de produção é possível melhorar sua integração e com isso incorporar ao planejamento serviços que geram valor para

a execução, considerando apenas o que é executado na prática, o que resulta no refinamento das atividades de planejamento. A obra Cidade de Zurique (LB3) pode compreender que a partir da sequência ideal desenhada na LB2, as variações da produção seriam menores, porém podem ocorrer se existir algum serviço específico ao projeto, que porventura não tenha ocorrido nos estudos da LB anterior.

- **Ponto Positivo:** O modelo gráfico de visualização da LB3 auxiliou no entendimento das equipes, gerando interesse dos profissionais com menor nível intelectual;
- **Ponto negativo:** O planejamento já havia sido definido, com isso o nível de adaptação para a extração de dados para a construção da LB gerou inconsistência para produção dificultando o entendimento de alguns serviços;
- **Sugestão:** Quando for iniciar o planejamento dos serviços de obras, é indicado que se monte uma relação de serviços de forma sequencial, que reflita a execução esperada do projeto e a complementariedade das atividades, a fim de reduzir o nível de detalhamento, como os exemplos da atividade de impermeabilização, que gera 3 serviços diferentes que são executados de forma sequencial (regularização, execução e teste), ou da atividade de pintura, que pode ser dividida como já visto em pintura interna de parede e pintura de teto.

2º Passo – Detalhamento das etapas de análise: Como um edifício para ser construído necessita de muitas atividades, que não são executadas pelos mesmos profissionais, foi necessário o detalhamento criando ambientes de trabalho, buscando reduzir interferências, como LB1 (Cidade de Vancouver) a prioridade foi apenas a torre do edifício, serviços que ficavam externos a torre gerou interferência no término da obra e não estavam sendo considerados na estratégia. Porém na LB2 (Cidade de Ouro Preto) foi possível detalhar melhor estas etapas com isso trazendo a LB3 (Cidade de Zurique) uma necessidade de melhorar a forma de identificar tais atividades.

- **Ponto Positivo:** O detalhamento das etapas, gera organização e faz com que o entendimento das necessidades de produção seja identificado, possibilitando a criação de rotinas de abastecimento de material, limpeza e preparação para as próximas etapas ou serviços, descarte de resíduos e a identificação da produção, pois a interrupção de algum serviço pode ser identificada na LB, gerando assim um estudo imediato do problema.

- **Ponto negativo:** Aprimorar a especificação das etapas de serviço demanda cautela, pois a subdivisão excessiva pode resultar em ociosidade na produção, o que é geralmente interpretado como folgas desnecessárias. Com o apoio da LB essa perspectiva muda, pois cada etapa é vista como parte integrante do processo, e a identificação precisa da necessidade de detalhamento vão além da simples gestão de tempo; trata-se de otimização eficiente para eliminar desperdícios.
- **Sugestão:** Sempre que houver a necessidade de detalhamento de qualquer atividade de produção é importante um estudo prévio e aprofundado, pois o detalhamento pode não ser necessário e como foi dito no ponto negativo, pode criar folgas desnecessárias. O combate a tais folgas demanda determinados cuidados como analisar a LB e ir até o local identificar se há produção.

3º Passo – Identificação dos recursos necessários: Ao detalhar as tarefas de execução e os ambientes de trabalho, é importante criar uma rotina de uso dos recursos, até mesmo para que as equipes produtivas possam chegar ao seu local de trabalho e desempenhar sua função adequadamente, não desperdiçando tempo buscando recursos. A LB1 (Cidade de Vancouver) priorizou o término da obra pelo caminho crítico, porém o fluxo de recursos foi um tanto quanto confuso no final; já na LB2 (Cidade de Ouro Preto) foi mais simples observar o fluxo do recurso, podendo estudar melhor a necessidade e onde cada recurso deveria estar sem gerar interferências a produção. Com isso a LB3 (Cidade de Zurique) começa já com a premissa de facilitar ao máximo a inserção de recurso o mais cedo possível antes do início do serviço, visualizando sempre o seu melhor aproveitamento.

- **Ponto Positivo:** A identificação de recursos necessários para a produção criou uma rotina de análise antecipada da necessidade, pois com a LB do projeto inteiro é possível identificar qual o melhor momento de solicitar recurso, assim possibilitando um melhor equilíbrio financeiro do projeto, pois alguns serviços que apareciam cedo demais puderam ser postergados sem perda significativa ao projeto, gerando inclusive pontos importantes de negociação beneficiando a aquisição dos recursos.
- **Ponto negativo:** Como são muitas atividades a serem analisadas e muitas dessas estão sobrepostas na LB, é necessário consultar o planejamento em formato de calendário, para ser possível identificar e solicitar os recursos em tempo, gerando assim mais uma informação que não pode ser ignorada.

- **Sugestão:** Por mais claro e visual que a LB seja, faz-se necessário uma agenda de reuniões (ou encontros periódicos) entre as equipes para repassar todos os pontos que estão em execução, o que cria uma agenda de atualização das necessidades de recursos para conhecimento das partes interessadas do projeto.

4º Passo – Entendimento do funcionamento produtivo: o objetivo neste passo é criar uma sequência ideal de execução, o que obviamente não seria possível sem os 3 passos iniciais apresentados. A LB1 (Cidade de Vancouver) apresentou folgas que poderiam ser preenchidas com serviços, porém pelo fato de ter considerado apenas o caminho crítico gerou dúvidas, pois quando era necessário fazer um replanejamento e algum serviço que não era do caminho crítico, fosse alterado, poderia ter um impacto na visualização da LB, sendo assim não dando clareza a análise a ser feita. Já na LB2 (Cidade de Ouro Preto), por conta do maior detalhamento e definição de seus pacotes de serviços, apresentou a possibilidade de usar uma produção em fluxo contínuo, inserindo nas folgas serviços de baixo valor agregado, porém com alto impacto na terminalidade do projeto. Na LB3 (Cidade de Zurique), para efeito de aprimoramento da técnica, optou-se por considerar o caminho crítico, porém com um acompanhamento paralelo da sequência ideal, com o monitoramento do máximo de serviços possíveis a fim de controlar os recursos e o tempo de produção.

- **Ponto Positivo:** Entender o processo de produção e como ele funciona, possibilita gerar estratégias possíveis quando algo não sai como deveria por interferências diversas. Tal entendimento gera na equipe tranquilidade de que a produção não prejudicará o planejamento, criando alternativas para manter a sequência de produção ideal, ou até mesmo de mudar se for da necessidade do projeto.
- **Ponto negativo:** Muitas etapas de execução foram negligenciadas pela equipe de planejamento, pois com a falta de conhecimento da execução muitas folgas para mitigar tal negligência eram consideradas de forma a não impactar o prazo final de obra, porém geravam uma informação errada da produção, gerando pouca confiança tanto na equipe executiva quanto nas partes interessadas do projeto.
- **Sugestão:** Sempre que um planejamento for montado, por mais parecido com outros projetos que ele seja, é necessário analisar projetos de execução, mas também apresentar e conversar com a equipe de produção, sabendo como as etapas podem ser executadas e ou otimizadas ao longo do projeto.

5º Passo – Simulação da realidade atual: A simulação do projeto auxiliou no entendimento da execução, como ela havia sido pensada e como ela estava sendo executada, gerando questionamentos entre equipe de execução e de planejamento. Em todas as obras implantadas a LB foi simulada sempre que possível, para avaliar uma mudança de rota de acordo com o andamento do projeto, ou até mesmo simular possibilidades futuras para aproveitar recursos disponíveis, gerando uma análise de ganho ou perda de acordo com a situação da obra.

- **Ponto Positivo:** Ao analisar o planejamento inicial é possível identificar serviços não aderentes com a realidade da execução, dificultando assim o entendimento das equipes de produção, gerando uma informação detalhada e extensa. Porém com a LB é possível identificar quais serviços de certa forma estão poluindo a informação do planejamento, e pela facilidade de entendimento é possível além de identificar suprimir o que não serve para acompanhar ou programar a execução.
- **Ponto negativo:** O projeto sofreu alteração em sua execução por alguns motivos técnicos, porém não foi atualizado em sua execução considerando os vínculos entre as atividades, perdendo assim o histórico de alterações do projeto. Ajustes no projeto sem critérios podem gerar confusão e retrabalho ao longo da obra, gerando custos desnecessários e possíveis paradas.
- **Sugestão:** Sempre que houver alterações na execução por qualquer motivo, as equipes de planejamento e diretoria precisam ser avisadas pois há a necessidade de entendimento e autorização para que isso seja ajustado ao planejamento e sempre que houver ajustes há a necessidade de atualizar a LB verificando seus impactos em serviços futuros.

6º Passo – Discussão e retroalimentação das etapas: A rotina de entender o planejado, gera análise das interferências e impactos gerados na terminalidade dos serviços; esta é uma etapa para que seja possível interagir com as equipes de produção e replanejar as atividades de produção. A discussão das etapas do projeto e suas interferências na implantação da LB1 (Cidade de Vancouver), tomando como base apenas as atividades do caminho crítico, não mostrou ser eficiente, e mostrou divergências na sequência dos serviços, o que exigiu ampliar a análise para os serviços que não estavam no caminho crítico, porém apresentavam influência no término da obra. Com isso foi possível identificar ações a serem tomadas naquele momento, como a análise dos ambientes de trabalho, necessidade e quantidade de recursos para a execução

do trabalho e um ponto chave que era o entender do projeto por parte da equipe de planejamento e como ele estava sendo apresentado à equipe de produção. Na implantação da LB2 (Cidade de Ouro Preto), com o amadurecimento das equipes de planejamento e de execução referente aos ganhos que a LB poderia agregar a produção, foi possível determinar uma sequência ideal para execução, com isso considerando de forma prática as etapas de obra. A partir disso as equipes de produção e de obra começaram a entender melhor seus prazos de entrega e como os recursos deveriam ser solicitados, considerando sempre quantidade (para armazenamento) e tempo de execução (antecipando solicitações e análise de necessidade). A escolha de equipamentos e a gestão de seu tempo de uso, serviu de balizador para o processo de tomada de decisão da empresa. No caso da LB3 (Cidade de Zurique) foi incorporada a sequência ideal de produção sendo possível treinar as equipes de produção de forma simples definindo metas de longo prazo, e estudando o mais cedo possível todos os serviços que pudessem gerar alguma parada no projeto.

- **Ponto Positivo:** Quanto mais discussão for extraída da análise feita a partir da LB planejada e do entendimento das equipes de produção ao que está sendo sugerido, mais os profissionais se sentem parte do projeto, aumentando o nível de confiança das equipes e criando um planejamento mais ativo, onde cada etapa de serviço é visível a todos os envolvidos do projeto.
- **Ponto negativo:** As discussões são sempre bem-vindas quando estudadas, porém, é necessário focar no que está sendo analisado e ter em mente o impacto que isso pode trazer a obra. Uma estratégia mal planejada e pouco discutida pode trazer prejuízos irreparáveis ao projeto, no entanto, destinar energia a discutir aspectos que pouco agregam ao que foi planejado pode não ser profícuo. É sempre importante ter um grupo de pessoas de áreas distintas dentro da obra para se reunir e discutir os problemas e avaliar as diferentes perspectivas.
- **Sugestão:** A discussão tem que ser feita com as equipes de planejamento e produção, agregando informações e gerando planos de ação possível de ser executado, pois a LB traduz o planejado de forma geral, sendo necessário analisar junto a equipe de produção se esta é a execução ideal para uma boa produção, com entrega no prazo e com alto grau de qualidade, gerando credibilidade e confiança do planejamento realizado.

7º Passo – Sugestões de melhoria: A LB possibilita analisar o projeto como um todo, porém é necessária atualização constante, gerando conhecimento dos serviços, abordando melhorias na visualização e gerando confiança na informação. A retroalimentação faz com que seja possível revisitar situações similares entre os projetos, possibilitando uma forma de melhorar a execução de forma contínua. Na implementação da LB1 (Cidade de Vancouver) a técnica gerou discussão acerca de processos que já eram executados na empresa e que estavam passando por uma implantação da assessoria Lean, com o objetivo de melhorar os processos de produção. Com a implantação dos conceitos Lean, a aplicação da LB2 (Cidade de Ouro Preto) investiu na aplicação do fluxo de trabalho contínuo e na estruturação dos pacotes de serviço, o que gerou resultados positivos direto na produção. A implementação da LB3 (Cidade de Zurique) ocorreu em um ambiente onde o planejamento estava mais claro em função de sua maior maturidade, fruto da incorporação dos aprendizados obtidos das implantações anteriores (LB1 e LB2) o que permitiu maior antecipação aos impactos gerados de uma eventualidade sobre o projeto, mitigando falhas que ocorreram nas obras anteriores.

- **Ponto Positivo:** A LB deve ter sua inteligência de implantação em evolução constante, sempre considerando a experiência das equipes de produção e obra e observando serviços diferentes que porventura não ocorreram em obras anteriores. Porém é necessário identificar as demandas e necessidades das equipes de produção abrindo assim um diálogo de melhoria constante não somente sobre a LB, como também sobre o projeto de um modo geral.
- **Ponto negativo:** A sugestão de melhoria deve ser acatada sempre que possível, porém com critérios e embasamento ao processo de implementação da LB.
- **Sugestão:** Sempre que uma sugestão de melhoria for apresentada é importante analisar a necessidade antes de ser aplicado aplicar, para que seja útil ao projeto e somente para uma equipe de trabalho, as alterações ou criações de serviços na LB, deve considerar o todo, necessidade, estratégia de execução, impactos em outros serviços e o nível de repetição, para que todos os envolvidos no projeto tenham conhecimento.

8º Passo – Simulação e controle de lições aprendidas: A LB serve como ferramenta de auxílio ao planejamento, e permitiu identificar oportunidades para o estabelecimento de um sequenciamento padrão das atividades. Essa evolução contínua foi alcançada com os esforços conjuntos das equipes de produção e de planejamento, e incorporada aos novos projetos. A LB evoluiu ao longo dos projetos, começando pela LB1 (Cidade de Vancouver) que tomou como

base apenas o caminho crítico, e as informações do planejamento inicial extraídos do gráfico de Gantt do MS PROJECT. A análise da LB da indústria mostrou que a adaptação do fluxo de trabalho para a construção civil precisaria ser repensada, uma vez que na indústria tradicional os recursos de uma forma geral são fixos enquanto na construção civil cada serviço precisa estar em um ambiente de trabalho (pavimentos), com simultaneidade de atividades. Na LB2 (Cidade de Ouro Preto) foi possível usar a técnica para o projeto inteiro, considerando o caminho crítico e suas interferências, foi possível também separar serviços em etapas onde cada etapa compreendia um grande grupo de execução da obra, já na LB3 (Cidade de Zurique) o fluxo contínuo das atividades propiciou o estudo antecipado dos serviços assim gerando um importante histórico para as obras futuras.

- **Ponto Positivo:** A simulação e o controle das lições aprendidas criaram uma maturidade importante nas equipes que passaram a visualizar melhor a sequência de execução e os recursos necessários.
- **Ponto negativo:** dificuldade em se estruturar uma LB após o desenvolvimento do projeto, pois caso isso venha a ocorrer, inibe as possibilidades de ganhos que a técnica propicia por conta de sua visão clara e antecipada, o que permite, por exemplo, avaliar com mais facilidade a dependência das atividades. A LB precisa ser estruturada a partir do início do projeto, caso contrário os ajustes se tornarão dispendiosos.
- **Sugestão:** Ao iniciar uma análise para simular uma LB, certifique do padrão de planejamento esperado e o mais importante, do prazo de entrega do projeto, para que seja possível aplicar o padrão de construção no tempo previsto, e sempre que for possível identificar inconsistência no projeto, relatar o mais cedo possível para que seja sanada.

A depuração dos passos para a implantação da LB mostra que as melhores práticas executadas na indústria convencional, podem ser adaptadas a construção civil, porém necessitam da inteligência que a LB procura deixar para as empresas no qual ela é aplicada, pois critérios de implantação e controle devem ser executados para que a informação se torne comum entre as partes interessadas ao projeto.

4.4 Análise do aprendizado

Ao simular a LB a partir de uma ideia sugerida pela consultoria LEAN, posteriormente incorporando aprendizado a partir do estudo e pesquisa do mestrado e por fim aplicando tal conhecimento no dia a dia em obras reais, o autor identifica muitos pontos de aprendizado importante, pois o planejamento é a ferramenta que une produção e resultado de um projeto, não sendo uma ciência exata, porém buscando considerar o máximo de interferências possíveis ao projeto, alertado, estudando e cobrando resultados para que o projeto e os profissionais encontrem o mínimo de dificuldades possível.

A evolução da implantação da LB mostra que não é apenas a necessidade de uma ferramenta para auxiliar na visualização dos serviços a serem executados, mas também de uma inteligência necessária para entender como agir em projeto com alto grau de detalhamento e de inúmeras atividades em execução. Ponto a ser destacado é o envolvimento das equipes de produção ao projeto, pois com a implantação da LB o discurso se tornou mais simples e houve o interesse de profissionais menos qualificados em participar do desenvolvimento desta forma de ver o planejamento, isso gerou contribuições importantes ao projeto.

A definição de uma sequência ideia de execução de serviços foi um resultado da integração entre equipe de produção e equipe de planejamento, com isso diminuindo interferências entre equipes produtivas e possibilitando a identificação de pontos falhos ou paradas no projeto. Outro ponto importante é o controle do planejamento que se tornou mais ativo aonde a equipe de planejamento vai atrás da informação de andamento e controle do projeto, buscando se antecipar a possíveis problemas dando subsídio para as equipes produtivas conhecerem e entenderem os impactos das ações ocorridas no canteiro.

A LB se apresentou como uma ferramenta complementar ao planejamento já aplicado pela construtora, pois o gráfico de Gantt gerado no MS Project, tem o mecanismo de calcular e vincular as atividades de forma mais rápida e precisa, a LB é um elemento visual que propicia entender como esses cálculos e vínculos se comportam ao longo do tempo. Ao ser uma ferramenta adaptada da indústria, o início da LB gerou um pouco de rejeição das equipes de produção, pois na visão dele era mais uma planilha a ser preenchida.

Na obra Cidade de Vancouver, a LB1 auxiliou no equilíbrio dos serviços aproveitando os resultados obtidos com a implantação do Lean, e contribuiu também com a forma de se planejar e controlar a obra, que antes da LB era de forma mais passiva, esperando a demanda aparecer para ser estudada. Com a implantação da LB o planejamento e o controle se tonaram

mais ativos e constantes; indo ao encontro da informação e buscando mitigar o que pudesse se tornar uma falha ao processo de produção.

Com as discussões em um nível mais avançada, na obra Cidade de Ouro Preto (LB2) a demanda por uma sequência ideal, surgiu a partir das equipes de produção, que tinham uma necessidade de se entender e buscar ter o mínimo de retrabalho possível, com isso os estudos começaram e a obra aceitou tal alteração, chegando a gerar a produção de serviços de fachada em um formato conhecido como anel, onde os quatro lados são executados em uma única vez. A produção funcionou como uma espécie de trabalho em cadeia, onde as equipes de reboco externo, pintura externa e colocação de esquadria, trabalhavam em um ritmo onde a equipe do reboco externo finalizava, para a equipe de pintura entrar e logo depois no local de trabalho seguido do recebimento e instalação de esquadria de alumínio, levando o serviço de forma pronta e economizando aproximadamente 40 dias do acabamento de fachada do edifício, gerando assim um ganho financeiro.

A obra Cidade de Zurique (LB3), usou as lições aprendidas tanto na obra Cidade de Vancouver (LB1) quanto da obra Cidade de Ouro Preto (LB2), incorporando no seu sequenciamento o fluxo contínuo de produção, porém sentindo dificuldade na entrega de recursos para sua produção, avaliando os impactos da execução, buscando se antecipar para início dos serviços futuros, gerando estudos de possibilidades na execução, dando ao planejamento a atenção fundamentada na execução dos serviços.

4.5 Resultados

A evolução do uso da LB para obras de edifícios altos trouxe um caminho próspero de aprendizado e estudos que contribuíram com a evolução das obras de modo a auxiliar na estratégia de redução de tempo de execução, e de custos do projeto.

As figuras a seguir, apresenta os 5 passos relevantes utilizados na implantação das LB1, LB2 e LB3, destacando a evolução da informação e melhorias incorporadas ao longo do desenvolvimento das LB's com reflexo nos processos de execução.

De acordo com a Figura 07 é possível identificar as primeiras colaborações, para a implantação da primeira visualização da LB1.

Figura 07 – LB1 destaque da sequência de implantação



Fonte: Próprio autor (2023)

A abordagem inicial na LB1 enfatiza a seleção criteriosa dos pacotes de trabalho como etapa fundamental na construção da LB. Seguindo as diretrizes da literatura, a fragmentação dos serviços a serem executados proporciona uma compreensão mais clara do sequenciamento das atividades correlacionadas. Por exemplo, no estágio inicial do planejamento, a atividade de "Alvenaria de bloco cerâmico interno e caixas elétricas" é identificada como um pacote de trabalho. É essencial separar os serviços por disciplina para entender o comportamento de cada equipe durante a execução e para otimizar a alocação de recursos. Assim, foram estabelecidos dois pacotes de trabalho distintos: um para a alvenaria de bloco cerâmico, a cargo dos pedreiros e seus auxiliares, e outro para a instalação de caixas elétricas na alvenaria, conduzido pelos eletricitistas e seus auxiliares.

Prosseguindo com o desenvolvimento da LB1, a literatura destaca a importância de priorizar os grupos de serviços que podem impactar o cronograma do projeto. Nesse sentido, a LB1 utilizou o conceito do caminho crítico para estabelecer a primeira visualização da LB. Posteriormente, foi essencial envolver as equipes de campo (engenharia e produção) para validar a LB1 e determinar se a apresentação das informações estava de acordo com as necessidades de planejamento. Dessa forma, foi implementado um processo de acompanhamento para que as equipes de campo pudessem familiarizar-se com a ferramenta e

fornecer insights sobre sua utilização e retroalimentação, resultando em um melhor entendimento da execução aplicada ao projeto.

Com a contribuição da LB1, foi possível iniciar a construção da LB2, usando as ideias discutidas já com as equipes de campo conforme a figura 08 abaixo:

Figura 08 – LB2 destaque da sequência de implantação



Fonte: Próprio autor

À medida que os primeiros resultados da LB1 foram obtidos, surgiu a oportunidade de expandir para a LB2, impulsionada pelos pontos de melhoria identificados pelas equipes de campo. Foi relatada a necessidade de um novo formato de apresentação que permitisse uma identificação mais rápida da localização de cada serviço em execução. Assim, foi implementada a criação das etapas de trabalho, que subdividem as áreas onde os serviços são realizados: a Torre (núcleo principal do projeto), a Fachada (lado externo do prédio) que requer transporte vertical para acesso, e a Periferia (área externa da torre), incluindo subsolos e térreo.

Com esse avanço, foi possível compreender melhor a sequência de trabalho além do caminho crítico, permitindo ajustes para evitar interferências entre recursos diversos. À medida que a LB2 progredia, feedbacks das equipes de campo foram coletados, identificando serviços essenciais para o andamento do projeto que não estavam contemplados no planejamento inicial. Isso resultou na criação de um canal direto de comunicação com o planejamento das atividades.

No entanto, ao detalhar os serviços, tornou-se necessário uma classificação compatível com as práticas da empresa. Assim, o plano de contas da empresa foi utilizado para classificar as atividades do planejamento, facilitando o entendimento e a identificação de cada etapa do projeto, unificando as informações.

Esse processo gerou uma sequência ideal de execução dos serviços, onde um ritmo de trabalho foi estabelecido e deveria ser seguido até a conclusão do projeto. Com o detalhamento das atividades e a inclusão de serviços anteriormente negligenciados, foi possível criar uma rotina de trabalho coesa e eficiente, contribuindo para o sucesso geral da obra.

A seguir veremos a figura 09, que contempla a evolução das práticas utilizadas na LB1 e LB2 para a construção da LB3.

Figura 09 – LB3 destaque da sequência de implantação



Fonte: Próprio autor

À medida que a LB evoluía da LB1 para a LB2 e, finalmente, para a LB3, as melhorias foram se tornando mais evidentes, impulsionadas pelo aprendizado contínuo e pela aplicação de novos conceitos. Na transição para a LB3, a sequência ideal estabelecida na LB2 foi adotada, garantindo uma execução mais uniforme e padronizada.

Com a utilização da LB3, cada atualização do planejamento passou a ser acompanhada de simulações de reprogramação, permitindo visualizar o impacto potencial de interferências

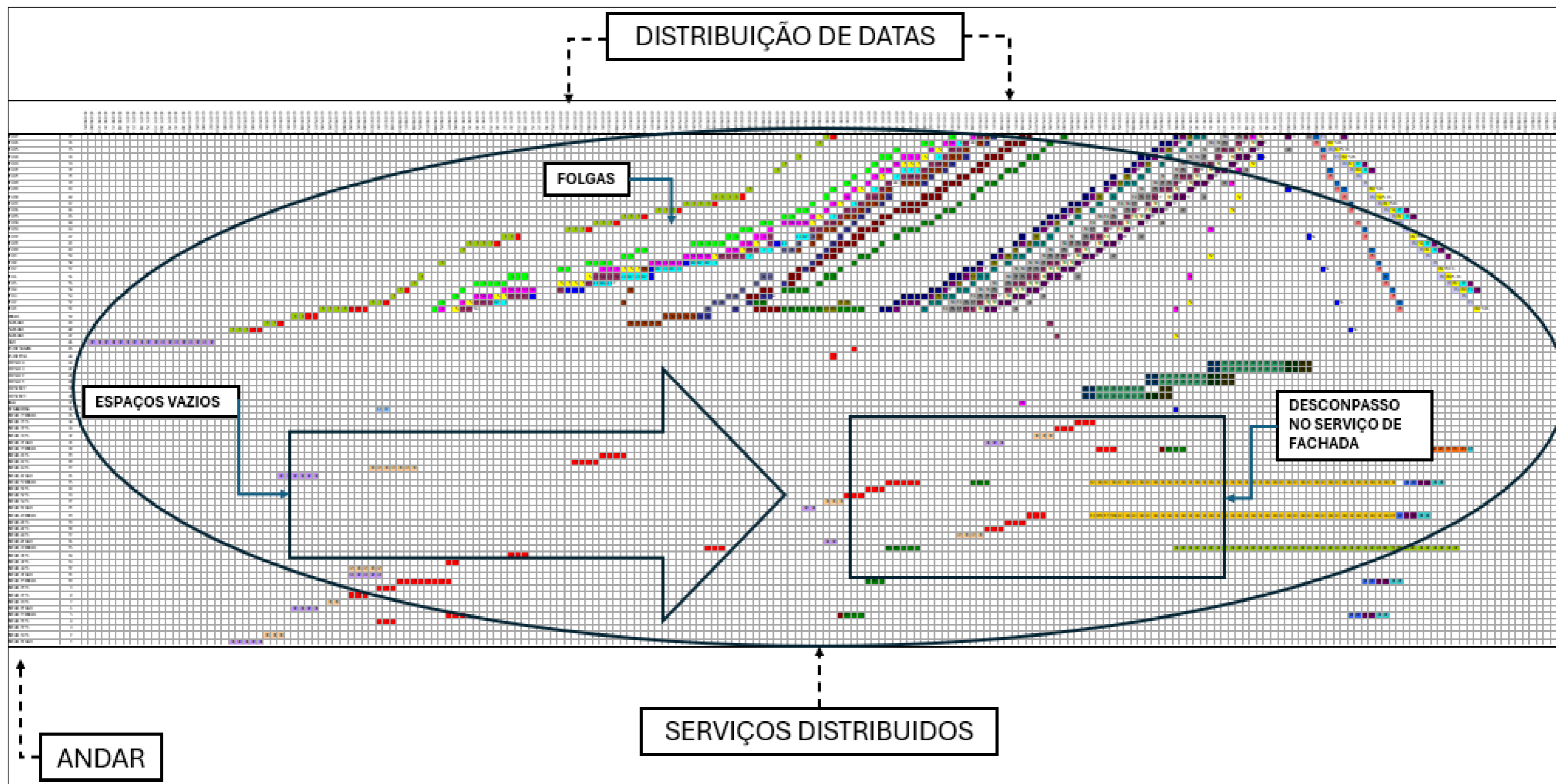
no projeto. Um benefício significativo alcançado com a LB3 foi a capacidade de mapear e estudar os serviços antes do início da execução, identificando oportunidades de aprimoramento na cadeia de execução. Isso gerou pontos de atenção para toda a equipe de campo e planejamento, antecipando informações cruciais.

Além disso, a LB3 possibilitou o estudo antecipado da implantação de equipamentos de transporte vertical, permitindo a previsão de serviços e a garantia da continuidade do projeto. Conforme a LB3 avançava, foi criado um banco de dados de lições aprendidas, registrando práticas bem-sucedidas e lições extraídas de experiências anteriores. Isso proporcionou um mecanismo contínuo de aprendizado e melhoria, garantindo que cada projeto se beneficiasse do conhecimento adquirido ao longo do tempo.

A LB1 possibilitou criar pacotes de trabalho a partir do desenvolvimento que a consultoria Lean obteve na aplicação dos conceitos na empresa, como um caminho para entender a evolução dos serviços usou-se o caminho crítico do projeto para identificar a forma que a obra foi planejada e quais interferências poderiam ocorrer. A apresentação da LB1 para a equipe de engenharia possibilitou a discussão sobre qual informação era relevante ser discutida visando a melhor sequência de trabalho, o acompanhamento periódico do planejamento com LB1 ajudou na identificação de necessidades de informação que geraram interferências no projeto, como simultaneidade de serviços gerando baixa produtividade, com isso reuniões de estudos das interferências começaram a ocorrer com isso ajudando na evolução da informação que a LB1 deveria apresentar.

Conforme figura 10 abaixo segue LB1 ilustrando a primeira visualização gerada pela LB, possibilitando identificar a obra como um todo e seus serviços distribuídos ao longo do prazo do projeto.

Figura 10 - LB1 Linha de Balanço referente à 1ª implementação (LB1)



Fonte: próprio autor.

Observação sobre LB1: após gerar a primeira LB1, é possível avaliar o planejamento de forma mais clara, os pontos de destaque que folgas, espaços vazios e o descompasso da fachada. As folgas se dão pela consideração apenas do caminho crítico com isso não está destacado serviços intermediários que podem ocorrer sem comprometer diretamente o prazo da obra. Os espaços vazios são ocasionados pela falta de detalhamento de alguns serviços que são do caminho crítico do projeto, porém não estava considerado no planejamento inicial da obra. E por fim o descasamento da fachada é decorrência da estratégia tomada no início de planejamento gerando a necessidade de estudar melhor o ritmo de execução nesta etapa.

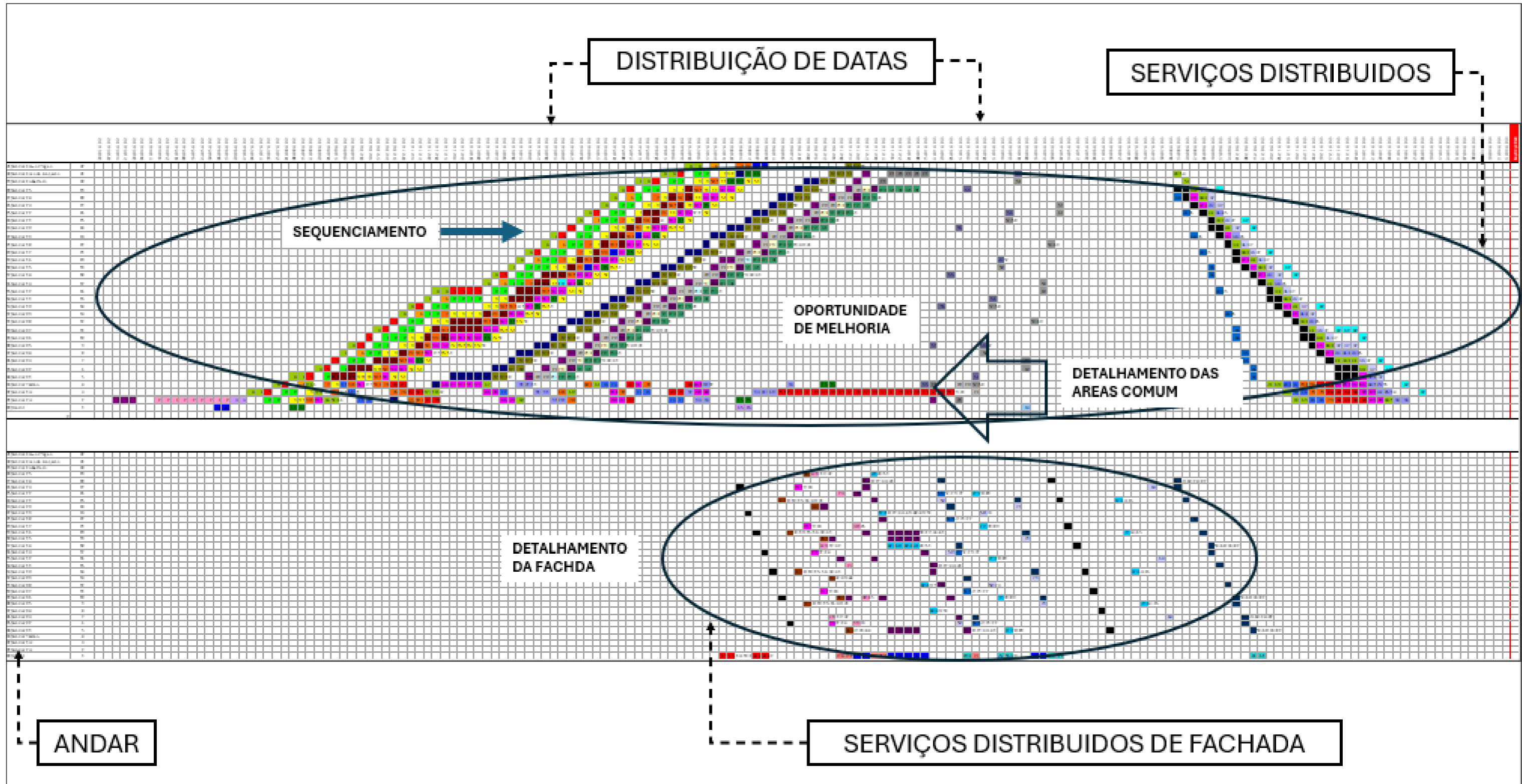
Folgas: um tempo relevante de término de um serviço sem que outro seja iniciado. Isso ocorre pelo fato de a LB1 ter considerado apenas os serviços do caminho crítico gerando assim dúvidas se o intervalo, ou melhor, folgas têm serviços neste meio tempo.

Espaços vazios: Com o detalhamento considerando apenas alguns serviços do caminho crítico, podem ser notados espaços vazios.

A LB2 trouxe uma evolução com a criação das etapas de trabalho da obra, mostrando o que estava sendo executado dentro dos apartamentos e nas áreas de uso comum que eram executadas em simultâneo, com isso trazendo a necessidade de um melhor dimensionamento das equipes e da sequência de trabalho. Como na LB1 o caminho crítico foi priorizado na LB2 foi possível incorporar mais serviços na LB, pois na LB1 a cada interferência encontrada mais serviços eram incluídos na LB, já na LB2 foi inserido o máximo de serviço possível para que a análise fosse feita de forma mais clara. Com a inclusão de mais serviços foi necessário o convite das equipes de produção para entender melhor suas execuções a fim de agregar valor ao planejamento, com a participação de quem executa os serviços foi possível criar uma sequência ideal de execução onde cada um identificaria seu momento de entrar no pavimento para executar o serviço fazendo assim uma execução com o mínimo de paradas possível.

Com tais contribuições a seguir observa-se o resultado da LB2 na figura 11:

Figura 11 – LB2 Linha de Balanço referente à 2ª implementação (LB2)



ANDAR

DETALHAMENTO DA FACHADA

DISTRIBUIÇÃO DE DATAS

SERVIÇOS DISTRIBUIDOS

SERVIÇOS DISTRIBUIDOS DE FACHADA

SEQUENCIAMENTO

OPORTUNIDADE DE MELHORIA

DETALHAMENTO DAS ÁREAS COMUM

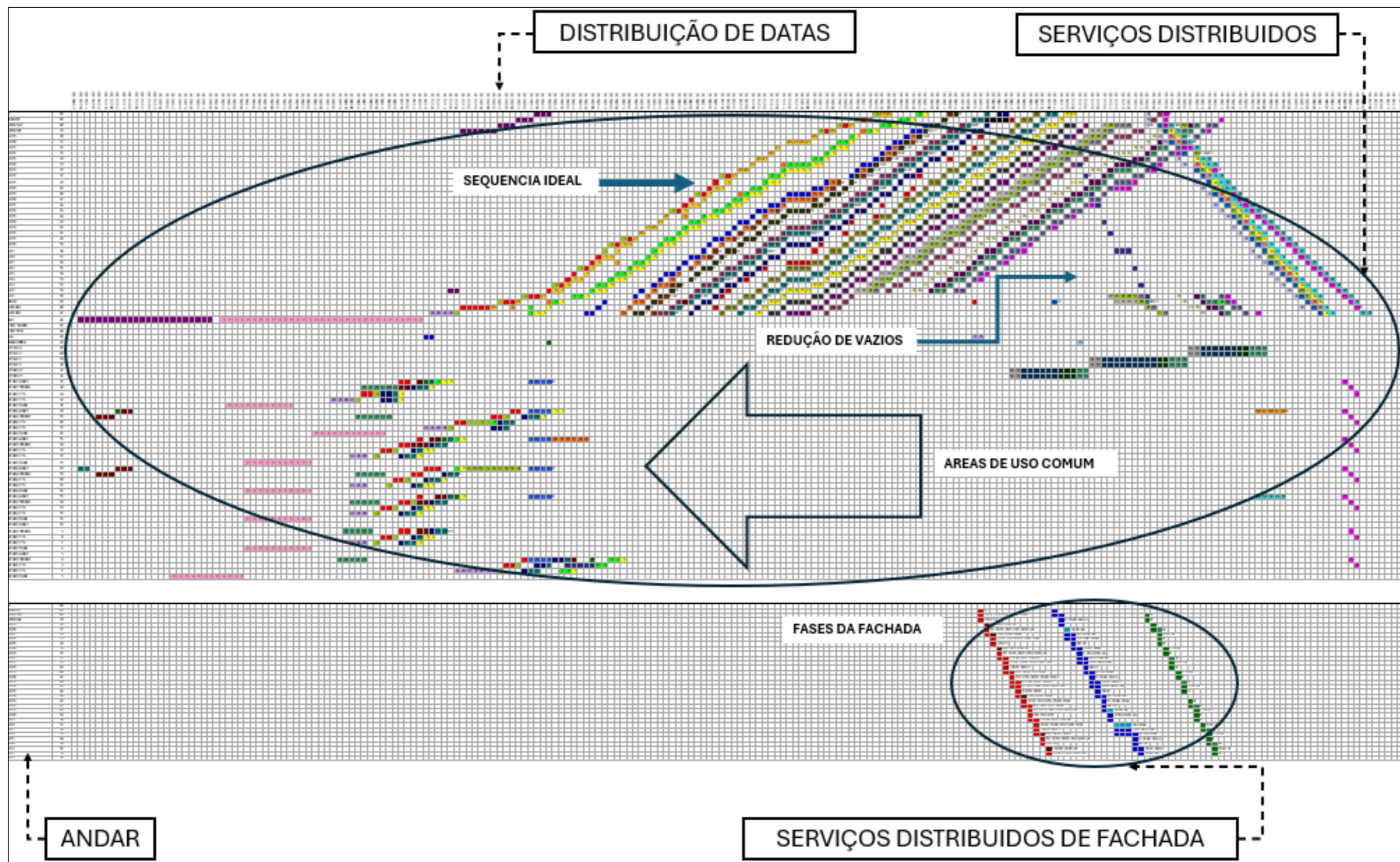
Fonte: próprio autor

Observação sobre LB2: a partir do aprendizado com a LB1, a LB2 já teve em seu planejamento considerações necessárias para a identificação das atividades planejadas, é possível observar o sequenciamento dos serviços de forma a diminuir folgas de um serviço para o outro considerando atividades além do caminho crítico. Na oportunidade de melhoria é possível observar um grande espaço em branco sem atividades nos andares, possibilitando estudos que possam gerar melhorias ao projeto. Na LB2 foram incorporando a visualização dos serviços das áreas de uso comum, áreas estas que são importantes para a terminalidade do edifício, pois contempla as entradas de energia, abastecimento de água e esgoto predial. Por fim um melhor detalhamento dos serviços relacionados à fachada organizando as etapas e buscando dar fluidez e sequência as atividades.

A LB3 iniciou seu planejamento com sequência ideal de execução definida, com isso já foi possível sugerir melhorias na execução como alocação de equipamento e recursos ao longo do canteiro, assim sendo a atualização da LB começou a ser mensal com as estratégias discutidas a cada serviço que iniciava, assim sendo com a possibilidade de verificar o projeto como um todo a cada serviço que era iniciado havia um estudo para identificar pontos críticos deste serviço e possíveis melhorias que pudessem auxiliar a produção de forma que não houvesse paradas, com isso foi possível criar histórico de execução de alguns serviços de todas as obras gerando um banco de dados de lições aprendidas para que seja possível recorrer sempre que alguma execução de serviço similar apareça e seja possível identificar quais medidas foram tomadas para sanar qualquer problema.

A partir do aprendizado adquirido é possível visualizar a LB3 na figura 12 a seguir, incorporando as lições aprendidas na LB1 e LB2:

Figura 12 – LB3 Linha de Balanço referente à 3ª implementação (LB3)



Fonte: próprio autor

Observação sobre LB3: com o sequenciamento dos serviços, foi possível determinar um ritmo ideal para que as atividades pudessem acontecer, com isso foi possível reduzir os espaços vazios identificados como oportunidades de melhoria na LB2, distribuindo melhor os serviços ao longo do planejamento. As áreas de uso comum tiveram uma prioridade dado a complexidade de autorizações de órgãos públicos para que pudesse ser liberado, com isso o detalhamento de cada etapa foi considerado na LB3, possibilitando a execução destes serviços no momento mais cedo possível. A fachada teve um melhor detalhamento de suas estratégias possibilitando criar fases de execução com isso criando uma sequência de trabalho mais equilibrada e dinâmica.

Analisando a evolução das Linhas de Balanço (LB1, LB2 e LB3), nota-se uma transformação significativa na organização dos serviços, evidenciando melhorias decorrentes do aprimoramento da comunicação entre as equipes de engenharia e produção. Na LB1, existem muitos espaços vazios, resultado do foco nos serviços críticos, destacando potenciais atrasos na conclusão da obra. Na LB2, a organização interna dos serviços é aprimorada, abrangendo uma variedade maior de tarefas e delineando uma sequência mais clara para o progresso da obra, serviço a serviço. Entretanto, na LB3, ao aplicar o sequenciamento ideal identificado na LB2, observa-se uma notável otimização, especialmente nos trabalhos de fachada. A reestruturação permitiu uma abordagem mais detalhada, revelando a complexidade desse aspecto e possibilitando uma gestão mais eficiente de mão de obra, materiais e equipamentos, resultando em uma produção mais otimizada. A fachada, antes considerada simplesmente no caminho crítico, agora é objeto de estudo detalhado, refletindo uma evolução direta na gestão da obra e uma significativa redução do risco de atrasos no cronograma. A seguir é possível analisar no quadro 03, a criação dos passos desenvolvidos para cada LB e evolução de uma LB para outro, criando assim o aproveitamento das boas práticas conseguidas com a aplicação e evolução dos estudos acerca da ferramenta.

A LB3 representa a síntese das melhores práticas derivadas das implementações das LB1 e LB2, incorporando os principais pontos de atenção que anteriormente eram negligenciados. No entanto, o aspecto mais relevante neste processo de implantação foi a melhoria da comunicação entre as equipes de produção e as equipes de planejamento. Com o avanço da aplicação das LB1 e LB2, foi possível identificar uma significativa melhoria na comunicação entre as equipes, permitindo que a LB3 fosse desenvolvida com a totalidade de informação de produção disponível, o que permitiu um planejamento mais consistente das atividades no que se refere a sua exequibilidade.

Antes da implantação das LB's, o planejamento consistia em uma lista de atividades que visavam abarcar o máximo possível de ações necessárias para controlar a obra, atendendo às demandas de prazo impostas pela direção da empresa. No entanto, com a implementação das LB's, tornou-se possível entender o cronograma da obra desde o início até o fim, refinando o modelo de apresentação das atividades, inicialmente com a direção e, posteriormente, com as equipes de produção.

Dessa forma, foi possível equilibrar as necessidades de cada parte interessada no projeto. Muitas das atividades incluídas no cronograma não eram utilizadas pelas equipes de produção, resultando em um preenchimento protocolar de planilhas para que a direção pudesse acompanhar o andamento do projeto. Isso, por sua vez, prejudicava a compreensão dos processos necessários para a execução. O desenvolvimento das LB1 e LB2 não apenas proporcionou uma forma de visualização mais prática para as equipes de produção, como também permitiu que elas entendessem o sequenciamento de cada serviço de forma didática, o que permitiu que as equipes se tornassem participantes ativas no processo de planejamento das atividades. Esse procedimento democratizou a informação e melhorou a qualidade das análises, criando um planejamento mais dinâmico.

A LB3 trouxe consigo as lições aprendidas com as implementações anteriores, mas também introduziu um padrão de análise da informação. Com um plano padrão definido, tornou-se possível analisar o percurso da produção do edifício e considerar possibilidades ao longo do projeto que poderiam minimizar dificuldades para os trabalhadores. Assim, estabeleceu-se uma cultura de revisão periódica do planejamento, estudando seus problemas e impactos, o que auxilia na tomada de decisões de forma antecipada. A LB3, incorpora a necessidade de sempre se visitar o planejamento, pois a cada dia de obra executada novos riscos e oportunidades se apresentam e como a LB é uma ferramenta que possibilita entender a obra como um todo, é possível questionar o andamento a qualquer momento e intervir sempre que for necessário.

Quadro 03 – Procedimentos detalhados da evolução da Linha de Balanço (LB)

PROCEDIMENTO MONTAGEM LB1	MELHORIA LB1 PARA LB2	PROCEDIMENTO MONTAGEM LB2	MELHORIA LB2 PARA LB3	PROCEDIMENTO MONTAGEM LB3
Passo 01 - Listar características do tipo de projeto, definir o escopo com objetivos e entregas, e listar atividades repetitivas com prazos.	Ao identificar as características do projeto que justificavam o uso da LB, a ferramenta foi ajustada com base em dados históricos de projetos anteriores, criando um suporte recorrente ao planejamento.	Passo 01 - Listar características do projeto, identificando o tipo, definindo o escopo, listando atividades repetitivas com seus prazos e criando sincronismo entre atividades complementares.	O sincronismo das atividades complementares gerou entendimento das necessidades de recursos entre as equipes, tornando o procedimento de preparação mais criterioso nos projetos.	Passo 01 - Listar as características do projeto, incorporando as atividades essenciais de acordo com suas demandas específicas.
Passo 02 - Criar pacotes de trabalho	Devido à repetição de serviços em diferentes etapas, é imperativo estabelecer ambientes distintos para gerenciar prazos e recursos de forma eficaz.	Passo 02 - Criar Etapas de trabalho, separando em grupo de ambientes onde cada serviço ocorre	Ao definir as etapas de trabalho, observou-se a simultaneidade de serviços, proporcionando uma compreensão clara do nível de interferência que pode ocorrer ao longo do projeto.	Passo 02 - Criar pacotes de trabalho, integrado com as características necessárias a projeto
Passo 03 - Selecionar serviços do caminho crítico como base de análise para LB, para criar grupos de trabalho	Os serviços do caminho crítico restringiram a visão dos demais serviços, portanto, foi necessário incorporar toda a cadeia de serviços para obter mais detalhes sobre o que será executado.	Passo 03 - Detalhamento dos serviços considerando toda a cadeia de produção (não somente a referente ao Caminho Crítico)	Após detalhar os serviços do caminho crítico, foi possível elaborar o detalhamento dos serviços necessários para a conclusão da obra, os quais eram considerados de forma simplificada no planejamento inicial.	Passo 03 - Detalhar os serviços de toda a cadeia de produção, incluindo serviço não considerados e excluindo serviços em excesso
Passo 04 - Definir ferramentas de tecnologia para gerar LB	Notou-se que a ferramenta Excel foi a mais indicada devido a sua fácil manipulação por todos os envolvidos no processo de planejamento	Passo 04 - Definir ferramentas de tecnologia para gerar LB (no caso adotou-se o Excel)	Com os ajustes no padrão de montagem da LB, foi possível otimizar nas ferramentas como os dados são extraídos, podendo ter arquivos mais leves que facilita a análise	Passo 04 - Definir ferramenta de tecnologia para gerar LB, organizando a base de dados de extração
Passo 05 - Simular LB para entender seu comportamento e como usa-la	Após ajustes foi possível criar simulações de forma simples possibilitando estudos dinâmicos	Passo 05 - Simular cenários de execução com base nas etapas de trabalho e sequenciamento de serviços já definidos pelo planejamento	A aprendizagem proveniente dos cenários envolvendo as etapas de trabalho destacou a necessidade de formalizar a análise da antecipação, visando extrair maiores benefícios de suas evidências.	Passo 05 - Desenvolver rotina de análise para a prospecção de serviços com potencial de antecipação (foco: minimizar pontos de atenção na execução dos serviços)
Passo 06 - Analisar resultados e efetuar ajustes iniciais, como a forma que as informações deveriam ser apresentadas	A análise do resultado se faz constante possibilitando identificar possíveis falhas na definição da estratégia	Passo 06 - Criação de rotina de análise dos resultados da LB, possibilitando equilibrar a sequência de como os serviços seriam executados	Com a rotina de análise definida, foi possível estabelecer retroalimentações a cada reprogramação de planejamento, mantendo a LB sempre atualizada, o que indicou a possibilidade de uma atualização mais consistente da ferramenta.	Passo 06 - Criar rotina de atualização de dados da LB a cada reprogramação de planejamento
Passo 07 - Compartilhar LB com equipe técnica para identificar contribuições ao planejamento	Após o entendimento da equipe técnica, foi feita a apresentação da LB para as equipes de produção possibilitando troca de experiência do que é necessário para a execução do projeto	Passo 07 - Compartilhar LB com as equipes técnica e de produção (avaliação do planejamento)	Com o envolvimento das equipes de produção a informação de planejamento se tornou mais democrática, com isso o uso da LB aumentou seu alcance e possibilitou estudo das atividades de maneira mais dinâmica	Passo 07 - Compartilhar LB com as equipes técnica e de produção (avaliação do planejamento)
Passo 08 - Submeter a LB a questionamentos da equipe técnica para identificar serviços relevantes que de fato são serviços executados pelas equipes de produção	Com o destaque gerado pela equipe técnica da obra, alguns serviços não previstos no planejamento foram considerados. No entanto, com o apoio da equipe de produção, foi possível simplificar as informações e incluir aspectos anteriormente negligenciados pelo planejamento.	Passo 08 - Rever planejamento dos serviços (feedback das equipes) e ajustar a clareza das informações para que sejam úteis no dia a dia	A experiência das equipes de produção possibilitou criar um banco de dados mais fiel ao que é executado no canteiro, com isso o planejamento ganhou mais a adesão por ser mais fidedigno a realidade das equipes	Passo 08 - Rever planejamento dos serviços (feedback das equipes) e ajustar a clareza das informações para que sejam úteis no dia a dia
			A melhoria surgiu da necessidade de eliminar interferências entre serviços e equipamentos simultâneos, evitando paradas desnecessárias, retrabalhos e riscos de acidentes, e permitindo a visualização dos impactos no projeto. Isso incluiu a adição de mais um passo ao processo de implantação da LB.	Passo 09 - Criar rotina de gestão de equipamentos de apoio a produção, indentificando uso e impactos ao projeto
Passo 09 - Reavaliar o processo com base nos destaques levantados nos passos anteriores	Retroalimentação gerou muitos dados e a forma de identifica-los na LB foi utilizando a codificação do plano financeiro da empresa de conhecimento de todos e também de cores que identificam os serviços	Passo 09 - Identificação de serviços gerando codificação simplificada	Com a padronização dos serviços a cada projeto as partes envolvidas tem mais conhecimento do que é necessário analisar (Passo 09 para Passo 10)	Passo 10 - Desenvolver padrão de identificação dos serviços (considerar etapa de trabalho, pacote de serviço e código do plano de conta)
Passo 10 - Desenvolver rotina de avaliação periódica do uso da LB	Com a evolução da LB, foi necessário a cada início de serviço, uma reavaliação das etapas de execução com a finalidade de identificar possíveis dificuldades o que indicou a necessidade de instaurar uma rotina de retroalimentação dos serviços	Passo 10 - Criar rotina de reavaliação do processo a cada início de serviço (retroalimentação do planejamento dos serviços)	Com a rotina de reavaliação estabelecida foi necessário avançar na análise identificando os possíveis impactos no caso de mudanças	Passo 11 - Criar rotina de reavaliação do processo a cada início de serviço (retroalimentação do planejamento dos serviços) e identificar impactos possíveis em caso de alterações
	Os resultados obtidos com a LB1 e sua difusão entre as partes interessadas, indicaram a necessidade de criar outras etapas ao processo de implementação da LB, relacionadas maneira como eles eram apresentados e comunicados aos envolvidos.	Passo 11 - Criação de sequência ideal de execução (o entendimento da estratégia de execução permitiu definir um padrão)	Com a criação da sequência ideal de execução foi possível determinar um planejamento mais estruturado, avaliando sempre a necessidade de ajustes	Passo 12 - Criação de sequência ideal de serviços, com identificação de melhoria ao sequenciamento das atividades de acordo com o projeto
		Passo 12 - Desenvolvimento de apresentação padrão dos resultados (foco na simplicidade e didática para promoção da integração e acessibilidade de todos à informação)	A implementação de ajustes, como considerar apenas dias úteis no campo de data, facilitou a contagem precisa do prazo real dos serviços, evitando interrupções nos fins de semana. A segmentação das etapas, como periferia e fachada, com LB separadas, ajudou na visualização clara dos serviços de cada fase e permitiu traçar uma linha sem simultaneidade nos serviços dependentes.	Passo 13 - Desenvolver apresentação padrão dos resultados (foco na simplicidade e didática para promoção da integração e acessibilidade de todos à informação)
		Passo 13 - Criar rede de aprendizado de formas de execução dos serviços	Com a comunicação estabelecida entre equipe técnica e planejamento, consultando sempre que possível a equipe de produção, foi possível identificar etapas dos serviços que necessitam de detalhamento no planejamento com isso foi possível criar uma reunião periódica para discussão de passos para execução de serviços e suas estratégias, possibilitando a evolução para uma reunião	Passo 14 - Estabelecer reuniões periódicas ao longo do projeto com a participação das equipes de planejamento, engenharia e execução
			Motivação - A inclusão da LB nas atividades de planejamento motivou a criação de novas abordagens, como simulações de processos de execução de serviços mais arrojadas, visando a eficiência no projeto. Isso incluiu a comparação com projetos similares para identificar dificuldades encontradas e soluções adotadas, permitindo o estudo de novas formas de execução, uma análise mais aprofundada dos recursos e a avaliação dos impactos de tempo, custo e dificuldade.	Passo 15 - Criar simulações de cenários visando oportunidades ao longo do projeto. Passo 16 - Mapear a estratégia de execução de acordo com as especificidades de cada projeto a partir de lições aprendidas. Passo 17 - Aprimorar o aprendizado de execução. Discutindo formas para otimizar os processos de produção Passo 18 - Organizar o fluxo de serviço para garantir um trabalho ritmado e eficiente, identificando pontos de atenção gerando ações a serem tomadas de forma antecipada

Fonte: próprio autor

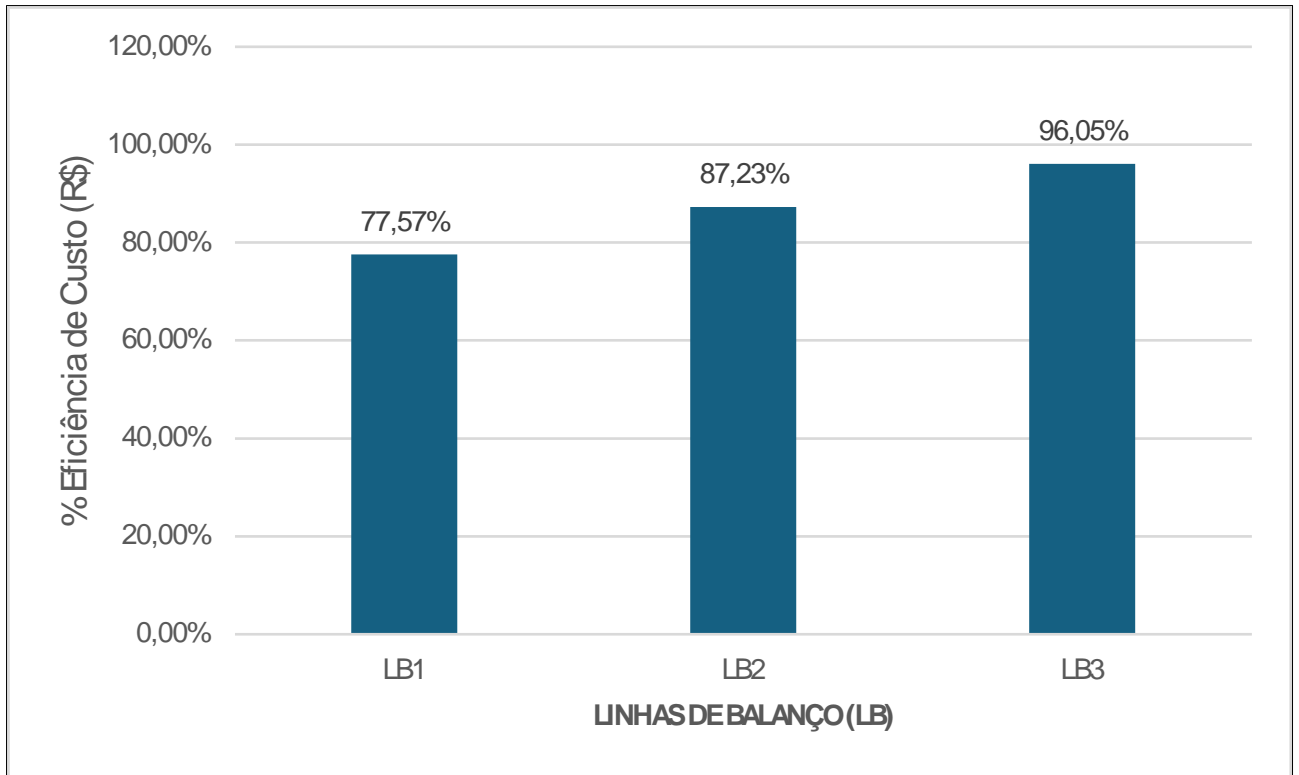
Uma das contribuições que essa investigação promoveu, é o detalhamento de procedimento referencial para a implantação da LB para projetos futuros de mesma natureza, tomando como base as experimentações LB1, LB2 e LB3, como pode ser visto a seguir:

1. **Análise Preliminar:** Realizar análise detalhada da linha de produção (sequência das atividades) existente, identificando pontos falhos e oportunidade de melhoria;
2. **Definição de Objetivos Claros:** Estabelecer metas visando o aumento da produção, redução de custos e maior qualidade das entregas;
3. **Design da LB:** Planejamento da configuração da LB distribuindo tarefas de forma equilibrada entre as estações de trabalho;
4. **Treinamento da Equipe:** Preparação da equipe para as mudanças através de treinamento adequado, garantindo que todos compreendam a estratégia;
5. **Implantação Gradual:** Iniciar a implantação de forma gradual, permitindo ajustes e correções conforme o progresso;
6. **Monitoramento Contínuo:** Acompanhamento periódico do desempenho em relação às metas ajustando sempre que necessário ao longo do processo;
7. **Avaliação de Resultados:** Realizar avaliações periódicas dos resultados utilizando indicadores de desempenho medindo o sucesso da implementação
8. **Identificação de Pontos Falhos e Aprimoramento Contínuo:** Identificar áreas de sucesso e desafios, implementando melhorias contínuas baseadas nas avaliações;
9. **Opinião dos Funcionários:** Coletar feedback dos funcionários que trabalham diretamente com a LB para obter insights relevantes;
10. **Documentação e Padronização:** Criar registros dos processos e procedimentos de forma clara e padronizada para garantir consistência;
11. **Compartilhamento de Melhores Práticas:** Promover a troca de melhores práticas entre equipes para estimular a melhoria contínua;

O aprendizado também revelou a importância de se considerar outros aspectos como:

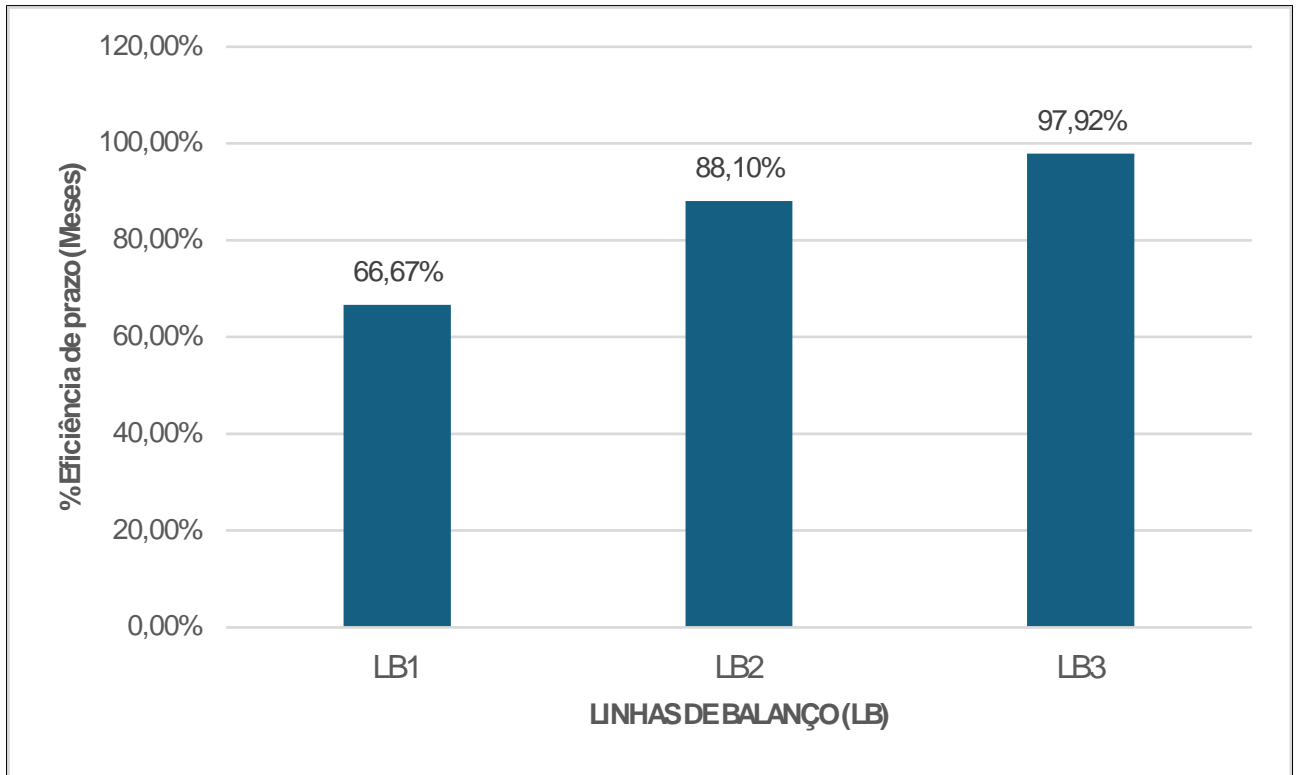
- **Resistência Cultural e Gestão de Mudanças:** necessidade de se preparar a equipe para que haja engajamento das partes envolvidas no processo, para que as dificuldades não limitem a evolução da implantação;
- **Uso de Ferramentas e Técnicas Adequadas:** importante considerar a utilização de ferramentas e técnicas simples de abordagem para auxiliar na visualização das tarefas e do fluxo de trabalho;
- **Banco de Dados de Lições Aprendidas:** necessidade de manter um banco de dados de lições aprendidas para capturar o conhecimento adquirido e aplicá-lo em projetos futuros.

Com a implementação da LB nas obras mencionadas, foi possível aprimorar a gestão do processo de compras das obras. Isto permitiu análises precisas para aquisição dos insumos necessários, resultando em melhores negociações. Além disso, houve uma sincronização na logística de entregas, armazenamento e condições de aplicação, reduzindo a geração de estoques excessivos e com isso redução de desperdícios dos insumos. Quanto à mão de obra, a utilização da LB possibilitou uma otimização na alocação de profissionais em cada etapa do projeto. Essas medidas resultaram em um maior aproveitamento dos custos, do prazo de execução da obra e do envolvimento das equipes de produção. O indicador de desempenho que foi utilizado considera a eficiência do Valor Gasto no Projeto (VGP), que avalia o aproveitamento do Valor de Orçamento do Projeto (VOP) dividido pelo Valor Efetivamente Gasto no projeto (VGP). Quando o planejamento inicial é estabelecido a empresa prepara um orçamento de custo de obras (VOP), para determinar um fluxo de gasto ao longo do projeto, que é monitorado mensalmente através do comparativo entre o previsto (orçamento) e o realizado (efetivo gasto), cujo resultado pode ser visto na figura 13.

Figura 13 – (%) Eficiência de Custo

Fonte: próprio autor (2024).

Quanto ao tempo de execução, aumenta o aproveitamento dos prazos, a LB1 em seu planejamento inicial desenvolvido sem a LB apresentou oportunidades de melhoria a partir a identificação de prazos mais dilatados, porém quando foi gerada a primeira análise da LB, observou-se uma estratégia que tinha prazos dilatados que poderiam ser otimizados com um aproveitamento de 77,57% do planejamento de tempo, apresentando oportunidades para o planejamento se tornar mais eficiente. Já a LB2 teve um aumento na eficiência de prazo de 87,23%, incorporando as lições aprendidas na LB1 destacando a sequência ideal de planejamento, e com a dinâmica do uso da LB sendo usada desde o início a obra. Já a LB3 que ainda está em andamento, até o momento apresentou uma eficiência de aproveitamento de prazo de 96,05%, pois estudo de execução dos serviços finais ainda está sendo desenvolvidos. O indicador foi construído a partir do Prazo Planejado Inicial da Obra (PPIO) dividido pelo Prazo Final da Obra medido mês a mês (PFO), resultando em um percentual de aproveitamento do planejado apresentando o quão eficiente está sendo a implantação da LB. Na figura 14 abaixo é possível observar os percentuais em cada projeto:

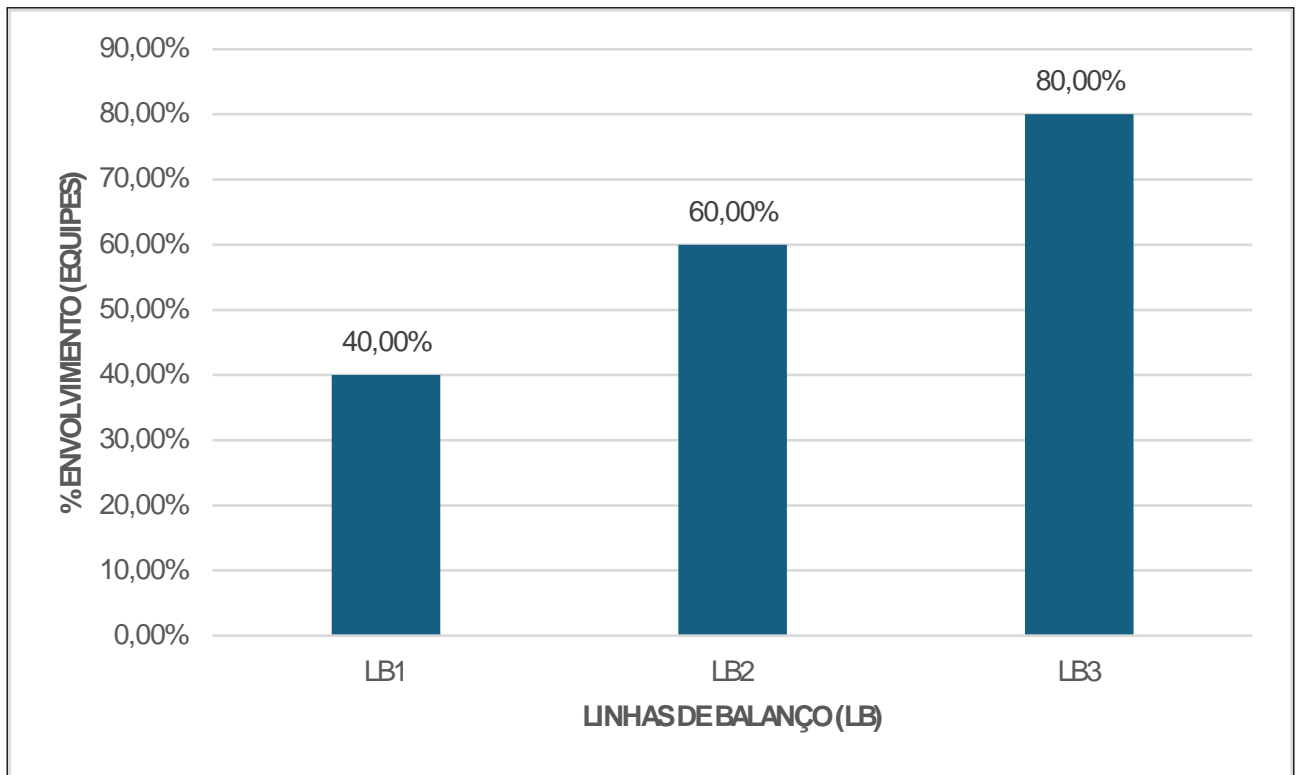
Figura 14 - (%) Eficiência de prazo

Fonte: próprio autor (2024).

O destaque mais significativo reside no aumento do envolvimento das equipes de engenharia e execução na estratégia de execução. A clareza das informações e a inclusão de atividades não previstas no planejamento anterior democratizaram o acesso à informação e fortaleceram a colaboração entre as equipes de planejamento e execução. Isso culminou em uma rotina de atualização contínua sobre o andamento das atividades na obra. Este indicador, derivado do número de profissionais que passaram a utilizar a LB como ferramenta de trabalho, reflete o engajamento das equipes. Por exemplo, as equipes de engenharia compreendem o Engenheiro Residente, Auxiliar de Engenharia e Estagiário de Engenharia. Já a equipe de produção é composta pelo Mestre de Obras, Encarregado de Obra Bruta, Encarregado de Obra Fina, Encarregado de Instalações Elétricas, Encarregado de Instalações Hidráulicas e Encarregado de Instalações Especiais, além dos subencarregados e líderes de empreiteiros. O percentual de envolvimento das equipes foi calculado dividindo o número de profissionais que utilizavam a LB como ferramenta de planejamento (PULB) pelo número total de líderes de equipe na obra (TPLD), resultando no percentual de envolvimento das equipes (%Envolvimento). Essa métrica proporciona uma visão clara do comprometimento e da integração das equipes no processo de execução da obra.

A seguir na figura 15 é possível observar o crescimento do envolvimento das equipes mostrando que a comunicação se tornou relevante a partir do uso da LB.

Figura 15 – (%) Eficiência do Envolvimento Equipes



Fonte (Próprio Autor)

5 CONCLUSÃO

A LB implantada para obras de edifício altas apresentou-se eficiente e grande aliada no apoio ao planejamento, se tornando uma ferramenta complementar aos modelos existentes. Uma de suas maiores virtudes foi o fortalecimento do trabalho em equipe, através do compartilhamento de informações com os diversos níveis do projeto. O compartilhamento das informações entre as equipes de planejamento, engenharia e execução, permitiu o alinhamento das ações e ganhos de produtividade por conta da maior integração entre os profissionais envolvidos. Os desafios que surgiram por conta desta nova estratégia de compartilhamento das ações revelaram oportunidades de melhoria, das quais algumas como o próprio processo de implantação ainda se apresenta como desafiadora, e inspira cuidados para que não se percam os aprendizados conquistados até o momento.

É importante ressaltar que há poucos relatos e/ou estudos relacionados aos

procedimentos de implantação da LB na construção civil, fato que eleva a insegurança dos profissionais da área no tocante ao uso mais intensivo desta técnica, o que obviamente limita a produção de trabalhos científicos sobre essa temática em obras de configuração diferentes de prédios com alto grau de repetição nas atividades. Ao contrário do que tem ocorrido com a indústria tradicional, a construção civil somente recentemente tem dedicado esforços consistentes para o aprimoramento de seus processos produtivos, com vistas à redução de custos e prazos. A ausência de estudos sobre a temática LB é um exemplo deste aspecto, e espera-se que este trabalho auxilie na divulgação dos potenciais ganhos que o uso da técnica pode trazer para o setor. A LB mostrou ser uma ferramenta com grande capacidade de melhoria quando bem ajustada à realidade da organização, voltada a integração das equipes de trabalho.

Outro aspecto importante a considerar além da falta de estudos no setor da construção civil é a carência de trabalhos baseados em dados reais. Este trabalho apresentou a evolução dos procedimentos de implantação da técnica LB, tomando como base 3 casos reais, e revelaram as dificuldades inerentes as equipes de trabalho, assim como suas soluções em um ambiente de negócios sabidamente caracterizado pela busca imediata por resultados. Grande parte dos trabalhos localizados na literatura teve como foco a indústria tradicional e basearam-se em dados hipotéticos para a geração de cenários sem a possibilidade de iteração. No caso específico desta investigação, o ambiente de aprendizagem foi o próprio canteiro de obras, que contou também com a possibilidade de replicação das lições aprendidas em outros canteiros, aspectos estes que somente foram possíveis devido ao vínculo do pesquisador com a organização, e naturalmente ao suporte desta às ações de pesquisa.

É possível afirmar que a LB quando aplicada de forma sistematizada em obras (projetos) reais, amplia de forma considerável a visibilidade do planejamento estratégico à toda a equipe envolvida na execução, em função da capacidade didática da técnica em apresentar os dados.

Com a inclusão da LB nos processos de gestão da obra, além dos benefícios já mencionados, como a melhor visualização das informações e maior compreensão dos processos, foi possível desenvolver a capacidade das equipes de trabalho de reavaliarem seus processos de construção, em busca de melhorias e aprendizado. O planejamento como era executado antes da implantação da LB, não dispunha de facilidades ou mesmo de capacidade que permitissem seu pleno entendimento por parte de um encarregado de produção. Este fato aumentava o nível de desconfiança das equipes de execução quanto ao que havia sido planejado, o que era irradiado até os níveis mais operacionais. A inclusão dos representantes de nível

operacional no processo de planejamento estratégico da obra rompeu com esta dinâmica e revelou novos valores à equipe de planejamento, que as incorporou às suas rotinas, gerando informações úteis para o canteiro de obras.

A criação de uma sequência ideal de serviços auxiliou e muito as equipes de produção, pois foi possível saber quando cada equipe deveria estar em seu posto de trabalho e quando isso deveria mudar. Esse aprendizado foi tão interessante que níveis mais altos da empresa, como diretoria e coordenação, que tinham pouco conhecimento a respeito dos serviços operacionais executados, começaram a gravar a sequência das atividades. Este maior envolvimento da alta direção começou a tornar-se mais evidente nas reuniões que envolviam esses níveis, quando se manifestavam de forma a conhecer detalhes operacionais como, por exemplo, a ciência de que os serviços de marcação em paredes para a instalação de caixas elétricas estavam na sequência dos serviços de Alvenaria.

Os resultados obtidos com a implantação das linhas de balanço nas obras estudadas levaram a empresa a adotá-la como uma ferramenta padrão e indispensável ao planejamento, com o propósito de buscar a melhoria e o aprimoramento das atividades, em particular as operacionais, com vistas a redução de tempo e de custos de seus projetos.

Para as pesquisas futuras, seria interessante o aprofundamento da temática em obras civis com características distintas da estudada, que se baseou na construção de edifícios altos com elevado grau de repetibilidade de produção. Avaliar a implementação da LB em obras como loteamentos, condomínios de casas térreas, obras públicas e obras industriais, buscando incorporar a premissa de pacotes de trabalho, seria uma interessante contribuição para a área.

REFERÊNCIAS

AAMER, Ammar M.; ISLAM, Sri S. Distribution Center material flow control: A line balancing approach. *Em: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 2019, Anais [...]*: Institute of Physics Publishing, 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/505/1/012078.

AMMAR, Mohammad A. Resource optimisation in line of balance scheduling. **Construction Management and Economics**, [S. l.], v. 38, n. 8, p. 715–725, 2020. a. DOI: 10.1080/01446193.2019.1606924.

AMMAR, Mohammad A. Optimization of line of balance scheduling considering work interruption. **International Journal of Construction Management**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 305–316, 2022. a. DOI: 10.1080/15623599.2019.1624003.

AMMAR, Mohammad A. Optimization of line of balance scheduling considering work interruption. **International Journal of Construction Management**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 305–316, 2022. b. DOI: 10.1080/15623599.2019.1624003.

AMMAR, Mohammad A.; ABDEL-MAGED, Amena F. Modeling of LOB scheduling with learning development effect. **International Journal of Construction Management**, [S. l.], v. 18, n. 6, p. 517–526, 2018. DOI: 10.1080/15623599.2017.1357350.

BANIHASHEMI, Saeed; HOSSEINI, M. Reza; GOLIZADEH, Hamed; SANKARAN, Shankar. Critical success factors (CSFs) for integration of sustainability into construction project management practices in developing countries. **International Journal of Project Management**, [S. l.], v. 35, n. 6, p. 1103–1119, 2017. a. DOI: 10.1016/j.ijproman.2017.01.014.

BJÖRNFOT, A.; JONGELING, R. Application of line-of-balance and 4D CAD for lean planning. **Construction Innovation**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 200–211, 2007. DOI: 10.1108/14714170710738559.

CAPUTO, Antonio C.; KALEMI, Bledar; PAOLACCI, Fabrizio; CORRITORE, Daniele. Computing resilience of process plants under Na-Tech events: Methodology and application to seismic loading scenarios. **Reliability Engineering and System Safety**, [S. l.], v. 195, 2020. DOI: 10.1016/j.res.2019.106685.

CARTER, John C.; SILVERMAN, Fredn. **A Cost-Effective Approach to Stochastic Line Balancing with Off-Line Repairs EXECUTIVE SUMMARY JOURNAL OF OPERATIONS MANAGEMENT**. [s.l.: s.n.].

COLLIER, Zachary A.; HENDRICKSON, Daniel; POLMATEER, Thomas L.; LAMBERT, James H. Scenario Analysis and PERT/CPM Applied to Strategic Investment at an Automated Container Port. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering**, [S. l.], v. 4, n. 3, 2018. DOI: 10.1061/ajrua6.0000976.

DAMCI, Atilla. Revisiting the concept of natural rhythm of production in line of balance scheduling. **International Journal of Construction Management**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. 2335–2344, 2022. DOI: 10.1080/15623599.2020.1786764.

DYKSTRA, Alison. **CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT: A Complete Introduction**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.KirshnerPublishing.com>.

ESWARAMOORTHY, M.; KATHIRESAN, G. R.; JAYASUDHAN, T. J.; PRASAD, P. S. S. S. S.; MOHANRAM, P. V. Flow index-based line balancing: A tool to improve the leanness of assembly line design. **International Journal of Production Research**, [S. l.], v. 50, n. 12, p. 3345–3358, 2012. DOI: 10.1080/00207543.2011.575895.

GOVENDER, P.; DEWA, M. USE OF KAIZEN PRINCIPLE AND LINE BALANCING TECHNIQUE FOR PROCESS IMPROVEMENT IN THE ASSEMBLY OF AUTOMOTIVE COMPONENTS. **South African Journal of Industrial Engineering**, [S. l.], v. 33, n. 3, p. 69–82, 2022. DOI: 10.7166/33-3-2790.

HAMADA, Takeshi; YAMASHITA, Nariharu; MIKAMI, Takayoshi; HASHIMOTO, Shinobu. **Estimation of Operation Efficiency by Line-balancing Method for Thinning and Ear Hanging Work of Scallop Aquaculture** *Nippon Suisan Gakkaishi*. [s.l: s.n.].

HE, Qiong; LIU, Yu; MA, Hong Ye. Research on 5s concept used in production line balance based online balance chart method--S production line as an example. *Em: APPLIED MECHANICS AND MATERIALS* 2013, **Anais** [...]. [s.l: s.n.] p. 28–33. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.328.28.

HERAVI, Gholamreza; MORIDI, Saeed. Resource-Constrained Time-Cost Tradeoff for Repetitive Construction Projects. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [S. l.], v. 23, n. 8, p. 3265–3274, 2019. DOI: 10.1007/s12205-019-0151-x.

JIN, Ruoyu; ZOU, Yang; GIDADO, Kassim; ASHTON, Phillip; PAINTING, Noel. **Scientometric analysis of BIM-based research in construction engineering and management**. **Engineering, Construction and Architectural Management** Emerald Group Holdings Ltd., 2019. DOI: 10.1108/ECAM-08-2018-0350.

JO, Sung Hwan; LEE, Eul Bum; PYO, Kyoung Youl. Integrating a procurement management process into Critical Chain Project Management (CCPM): A case-study on oil and gas projects, the piping process. **Sustainability (Switzerland)**, [S. l.], v. 10, n. 6, 2018. a. DOI: 10.3390/su10061817.

LAM, Nguyen Thi; TOI, Le Minh; TUYEN, Vu Thi Thanh; HIEN, Do Ngoc. Lean Line Balancing for an Electronics Assembly Line. *Em: PROCEDIA CIRP* 2016, **Anais** [...]: Elsevier B.V., 2016. p. 437–442. DOI: 10.1016/j.procir.2016.01.089.

LEE, Hyun Chul; LEE, Eul Bum; ALLEMAN, Douglas. Schedule modeling to estimate typical construction durations and areas of risk for 1000 MW ultra-critical coal-fired power plants. **Energies**, [S. l.], v. 11, n. 10, 2018. DOI: 10.3390/en11102850.

LUJIĆ, Roberto; BARKOVIĆ, Dražen; JUKIĆ, Josip. Minimizing the pessimistic time of activity in overhaul project. **Tehnicki Vjesnik**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 391–397, 2019. DOI: 10.17559/TV-20180410114808.

MUGENDIRAN, V.; BABU, A. Gnanavel; RAMADOSS, R. Tensile behaviour of al5052 alloy sheets annealed at different temperatures. *Em: ADVANCED MATERIALS RESEARCH 2014, Anais [...]. [s.l: s.n.] p. 431–435. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.845.431.*

RACHMAWATY, DIna; KARNINGSIH, Putu Dana; SANTOSA, Budi. Two-Sided assembly line balancing minimize number of workstations with considering the relationships between tasks. *Em: MATEC WEB OF CONFERENCES 2018, Anais [...].: EDP Sciences, 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201820402015.*

RECK, Raquel Hoffmann; BATAGLIN, Fernanda Saidelles; FORMOSO, Carlos Torres; BARTH, Karina Bertotto; DIEPENBRUCK, Thomas; ISATTO, Eduardo Luis. Diretrizes para a definição de lotes de montagem de sistemas pré-fabricados de concreto do tipo engineer-to-order. **Ambiente Construído**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 105–127, 2020. DOI: 10.1590/s1678-86212020000100365.

ROCHA, Cecilia Gravina Da; ANZANELLO, Michel José; GERCHMAN, Marcos. Method to Assess the Match between Clients' Input and Decoupling Points in Customized Building Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, [S. l.], v. 144, n. 5, p. 1–9, 2018. a. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001453.

SHABEER ALI, I.; RAKESH, P.; ANAND, K. B. Acceleration of repetitive units in construction projects using line-of-balance and linear scheduling with singularity function. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S. l.], v. 577, n. 1, 2019. a. DOI: 10.1088/1757-899X/577/1/012115.

TANG, Yuanjie; SUN, Quanxin; LIU, Rengkui; WANG, Futian. Resource Leveling Based online of Balance and Constraint Programming. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, [S. l.], v. 33, n. 10, p. 864–884, 2018. a. DOI: 10.1111/mice.12383.

TOKDEMIR, Onur B.; EROL, Huseyin; DIKMEN, Irem. Delay Risk Assessment of Repetitive Construction Projects Using Line-of-Balance Scheduling and Monte Carlo Simulation. **Journal of Construction Engineering and Management**, [S. l.], v. 145, n. 2, 2019. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001595.

TOMAR, Anjul; BANSAL, V. K. Scheduling of repetitive construction projects using geographic information systems: an integration of critical path method and line of balance. **Asian Journal of Civil Engineering**, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 549–562, 2019. DOI: 10.1007/s42107-019-00123-3.

UNGUREANU, Lucian Constantin; HARTMANN, Timo; SERBANOIU, Ion. Quantitative lean assessment of line of balance schedules' quality. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 224–244, 2019. a. DOI: 10.1108/ECAM-05-2017-0088.

UNGUREANU, Lucian Constantin; HARTMANN, Timo; SERBANOIU, Ion. Quantitative lean assessment of line of balance schedules' quality. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 224–244, 2019. b. DOI: 10.1108/ECAM-05-2017-0088.

WANG, Ting; FAN, Ran; PENG, Yanjie; WANG, Xin. Optimization on mixed-flow assembly u-line balancing problem. **Cluster Computing**, [S. l.], v. 22, p. 8249–8257, 2019. DOI: 10.1007/s10586-018-1738-6.

WOMACK, James P.; JOHES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **A MÁQUINA QUE MUDOU O MUNDO BASEADO NO ESTUDO DO MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY SOBRE O FUTURO DO AUTOMÓVEL** 10^a edição. [s.l: s.n.].

XU, Yayin; ZHOU, Ying; SEKULA, Przemyslaw; DING, Lieyun. Machine learning in construction: From shallow to deep learning. **Developments in the Built Environment**, [S. l.], v. 6, n. February, p. 100045, 2021. DOI: 10.1016/j.dibe.2021.100045.

ZHANG, Lihui; TANG, Yaping; QI, Jianxun. Resource Leveling Based on Backward Controlling Activity in Line of Balance. **Mathematical Problems in Engineering**, [S. l.], v. 2017, 2017. DOI: 10.1155/2017/7545980.

ZOU, Xin; ZHANG, Qian; ZHANG, Lihui. Modeling and Solving the Deadline Satisfaction Problem in Line-of-Balance Scheduling. **Journal of Management in Engineering**, [S. l.], v. 34, n. 1, 2018. DOI: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000565.