



Universidade Estadual
da Região Tocantina
do Maranhão

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO –
UEMASUL

CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS –
CCHSTL *CAMPUS* AÇAILÂNDIA

CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

EMILY DO NASCIMENTO SILVA

**A APLICAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO (LOB) NA GESTÃO DE RESÍDUOS
EM OBRAS DE ENGENHARIA CIVIL: Uma abordagem sustentável**

Açailândia – MA

2026

EMILY DO NASCIMENTO SILVA

**A APLICAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO (LOB) NA GESTÃO DE RESÍDUOS
EM OBRAS DE ENGENHARIA CIVIL: Uma abordagem sustentável**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado, do Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, Campus Açailândia, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho

Açailândia – MA

2026

EMILY DO NASCIMENTO SILVA

**A APLICAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO (LOB) NA GESTÃO DE RESÍDUOS
EM OBRAS DE ENGENHARIA CIVIL: Uma abordagem sustentável**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil Bacharelado, do Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, Campus Açailândia, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho

Aprovado em 01/06/2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Prof. Dra. Alcineide Dutra Pessoa de Sousa
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Prof. Esp. Mário Silva de Lucena
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

S586a

Silva, Emily do Nascimento

A aplicação da linha de balanço (lob) na gestão de resíduos em obras de engenharia civil: Uma abordagem sustentável/Emily do Nascimento Silva. – Açailândia: UEMASUL, 2026.
72 f.

Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2026.

Orientadora: Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho.

1. Linha de balanço. 2. Lean Construction. 3. Gestão de resíduos. 4. Planejamento de obras. 5. Sustentabilidade I. Título.

CDU 624

Dedico todo e qualquer sucesso, primeiramente, a Deus, por me sustentar, iluminar meus caminhos e me conceder força, sabedoria e perseverança para chegar até aqui. À minha família, base de tudo, dedico esta conquista com profundo amor e gratidão. Em especial, à minha mãe, Eliciele, que, sob muito sol, fez com que eu chegasse até aqui pela sombra e com água fresca, sendo abrigo, cuidado e inspiração em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me guiar, me fortalecer e me conceder sabedoria para enfrentar cada desafio ao longo desta caminhada. Sem a sua presença, nada disso seria possível.

À minha família, meu alicerce e minha maior fonte de amor, agradeço por todo o apoio incondicional ao longo dessa trajetória. Em especial, à minha mãe, Eliciele, por sua força, dedicação e carinho, ensinando-me, todos os dias, o verdadeiro significado de perseverança. Aos meus avós, Elieusa e Wilson, por serem exemplos de vida, de trabalho árduo, paciência e dignidade. À minha tia Eliciane, por todo o afeto, cuidado e apoio constante.

Ao meu namorado, Antônio Harlisson, por estar ao meu lado em cada passo dessa caminhada, sempre com paciência, amor e companheirismo. Agradeço de forma especial por todo o cuidado e apoio demonstrados diariamente, inclusive por me levar ao meu primeiro estágio todos os dias, gesto que marcou profundamente essa fase da minha vida e tornou minha rotina mais leve e segura.

Às minhas colegas de turma, Bruna, Joicyane, Waylla e Lara, por compartilharem comigo os desafios, as conquistas, os aprendizados e os momentos mais marcantes dessa trajetória. Obrigada pelo acolhimento, pela amizade sincera e pelo carinho de sempre. Levarei com muito afeto cada lembrança construída ao lado de vocês.

Ao meu orientador, pela orientação, paciência, disponibilidade e pelos valiosos ensinamentos que foram essenciais para a realização deste trabalho. Sua contribuição foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e para a construção desta pesquisa.

Aos professores e colegas que fizeram parte da minha formação, deixo minha sincera gratidão por todo o conhecimento compartilhado, pelo incentivo e pelas contribuições que me ajudaram a crescer não apenas academicamente, mas também como pessoa.

Por fim, agradeço a mim mesma, pela coragem de seguir em frente mesmo diante das dificuldades, pela dedicação, pelo esforço contínuo e por não ter desistido dos meus sonhos. Este trabalho representa não apenas a conclusão de uma etapa, mas a realização de um grande sonho construído com fé, esforço e perseverança.

A todos que, de alguma forma, torceram por mim, me incentivaram e contribuíram para que eu chegasse até aqui, deixo registrada a minha mais profunda gratidão. Esta conquista também é de cada um de vocês.

RESUMO

Considerando a relevância da construção civil no desenvolvimento econômico e urbano, bem como os impactos ambientais associados à elevada geração de resíduos no setor, o presente estudo aborda a aplicação da Linha de Balanço (LOB) na gestão de resíduos em obras de engenharia civil, com o objetivo de compreender como essa ferramenta pode contribuir para a redução de desperdícios e para o fortalecimento de práticas mais sustentáveis. Para isso, buscou-se apresentar os principais conceitos e aplicações da LOB, analisar sua contribuição para a redução do desperdício de materiais, examinar sua relação com os princípios da Lean Construction e identificar os contextos em que sua aplicação tende a apresentar melhores resultados. A pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, com abordagem qualitativa e caráter exploratório e descritivo, sendo desenvolvida a partir da análise de livros, artigos científicos, dissertações e teses relacionados ao tema. Os resultados indicaram que a geração de resíduos na construção civil está diretamente associada a falhas no planejamento da produção, à descontinuidade das atividades e à falta de coordenação entre equipes, evidenciando que a gestão de resíduos deve ser tratada de forma preventiva. Verificou-se que a aplicação da LOB contribui para a organização do fluxo produtivo, melhora a previsibilidade das atividades e reduz retrabalhos e desperdícios, especialmente quando associada aos princípios da Lean Construction. Conclui-se que a LOB atua como uma ferramenta estratégica para a melhoria da eficiência produtiva e para a redução da geração de resíduos, apresentando melhores resultados em obras com elevado grau de repetitividade, e reforçando a importância do planejamento como elemento central para a promoção da sustentabilidade na construção civil.

Palavras-chave: Linha de Balanço; Lean Construction; Gestão de resíduos; Planejamento de obras; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Considering the relevance of civil construction to economic and urban development, as well as the environmental impacts associated with the high generation of waste in the sector, this study addresses the application of the Line of Balance (LOB) in waste management in civil engineering works, aiming to understand how this tool can contribute to reducing waste and strengthening more sustainable practices. To this end, the study sought to present the main concepts and applications of LOB, analyze its contribution to reducing material waste, examine its relationship with the principles of Lean Construction, and identify the contexts in which its application tends to yield better results. The research is characterized as bibliographic, with a qualitative approach and exploratory and descriptive nature, developed from the analysis of books, scientific articles, dissertations, and theses related to the topic. The results indicated that waste generation in civil construction is directly associated with failures in production planning, discontinuity of activities, and lack of coordination between teams, highlighting that waste management should be treated preventively. It was found that the application of the Line of Balance contributes to the organization of the production flow, improves the predictability of activities, and reduces rework and waste, especially when associated with the principles of Lean Construction. It is concluded that the Line of Balance acts as a strategic tool for improving productive efficiency and reducing waste generation, showing better results in projects with a high degree of repetitiveness, and reinforcing the importance of planning as a central element for promoting sustainability in civil construction.

Keywords: Line of Balance; Lean Construction; Waste management; Construction planning; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.	20
Figura 2 - Etapas principais do ciclo construtivo.	24
Figura 3 - Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC).	30
Figura 4 - Exemplo de processo na visão tradicional.	34
Figura 5 - Exemplo de processo na visão Lean.	35
Figura 6 - Informações da Linha de Balanço.	39
Figura 7 - Estrutura Analítica de Projeto (EAP).	40
Figura 8 - Exemplificação em Excel do ritmo das atividades.	41
Figura 9 - Exemplo de planejamento em Linha de Balanço (software Prevision).	48
Figura 10 - Código de cores para resíduos da construção civil.	55
Figura 11 - Fluxograma de aplicação da Linha de Balanço integrada à gestão de resíduos.	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais normas técnicas aplicáveis à gestão dos resíduos da construção civil.	27
Quadro 2 - Classificação e disposição dos RCC.	29
Quadro 3 - Princípios da construção enxuta.	33
Quadro 4 - Desperdícios da construção enxuta.	36
Quadro 5 - Síntese das contribuições da LOB no planejamento da produção.	50
Quadro 6 - Relação entre falhas operacionais e desperdícios.	52
Quadro 7 - Integração entre planejamento, LOB e gestão de resíduos.	56
Quadro 8 - Síntese das propostas de melhoria e seus impactos na gestão de resíduos.	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre qualidade do planejamento e geração de resíduos.	49
Gráfico 2 - Comparação multidimensional do desempenho produtivo: modelo tradicional vs LOB + Lean.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3Rs	Reduzir, Reutilizar e Reciclar
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
ATT	Área de Transbordo e Triagem
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
LOB	Linha de Balanço
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos da Construção Civil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. METODOLOGIA.....	17
3.1. Tipo de Pesquisa e Abordagem.....	17
3.2. Estratégia da Pesquisa	18
3.3. Procedimentos Metodológicos	18
3.4. Análise dos Dados	21
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
4.1. Sustentabilidade e impactos ambientais na construção civil	22
4.2. A construção civil e a gestão de resíduos	25
4.3. Os princípios da Lean Construction	32
4.4. Princípios da Linha de Balanço (LOB) no planejamento de obra	38
4.5. A relação entre a Linha de Balanço e a gestão de resíduos na construção civil.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1. Planejamento da produção e aplicação da Linha de Balanço	48
5.2. Linha de Balanço, Lean Construction e redução de desperdícios	51
5.3. Gestão de resíduos, sustentabilidade e implicações práticas	54
6. PROPOSTA DE MELHORIAS TÉCNICAS	58
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

A construção civil ocupa posição de destaque no contexto brasileiro, tanto por sua contribuição para a economia quanto pela capacidade de gerar empregos e transformar os espaços urbanos e sociais. O setor está diretamente relacionado à expansão urbana, à oferta de moradias, à implantação de infraestrutura e ao atendimento de demandas essenciais da sociedade, interferindo de forma direta na organização do território e na qualidade de vida da população. Em razão dessa expressividade, a construção civil é frequentemente reconhecida como estratégica para o crescimento econômico e urbano do país (Abrelpe, 2017).

Entretanto, a relevância econômica e social desse setor convive com impactos ambientais significativos, especialmente em razão do elevado consumo de recursos naturais e da expressiva geração de resíduos ao longo das obras. Dados recentes evidenciam a magnitude e a complexidade desse problema no cenário nacional.

Segundo a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema, 2023), o Brasil gerou aproximadamente 45 milhões de toneladas de resíduos da construção civil em 2023, o que reforça a magnitude dos impactos associados ao setor da construção civil. O avanço da urbanização e o aumento da demanda por edificações e infraestrutura intensificam a utilização de insumos, a produção de perdas e a pressão sobre os sistemas de gerenciamento e destinação de resíduos.

Dentre os impactos associados à construção civil, destaca-se a elevada geração de resíduos, cuja gestão se configura como um dos principais desafios para a promoção da sustentabilidade no setor. Esse processo envolve práticas como redução, segregação, reaproveitamento e controle dos materiais gerados ao longo das atividades construtivas.

Conforme destacam Gonçalves e Haubrick (2020), a eficiência do gerenciamento não depende exclusivamente de aspectos técnicos, mas também de fatores organizacionais e humanos, especialmente relacionados à coordenação das equipes e à forma como o planejamento da obra é conduzido. Quando esses elementos não são devidamente integrados, ampliam-se o desperdício de materiais, o retrabalho e as perdas, comprometendo tanto o desempenho do empreendimento quanto sua qualidade ambiental.

Essa problemática torna-se ainda mais evidente em situações nas quais a expansão da construção civil ocorre de maneira acelerada, sem que esse crescimento seja acompanhado por mecanismos adequados de planejamento, controle e gerenciamento de resíduos, situação observada em diversos municípios do interior do Maranhão.

Além da dimensão ambiental, a construção também enfrenta entraves associados à produtividade, ao cumprimento de prazos e ao controle de custos. Em muitos empreendimentos, falhas no planejamento das atividades, na gestão de suprimentos, na organização da mão de obra e na coordenação entre as equipes figuram entre as principais causas de atrasos e ineficiências durante a execução (Carvalho *et al.*, 2021). Assim, o planejamento assume caráter estratégico, pois orienta decisões, contribui para a previsibilidade das operações e influencia diretamente o alcance das metas de prazo, custo e qualidade.

A busca por maior eficiência produtiva e menor desperdício aproximou a construção civil de abordagens voltadas à melhoria contínua dos processos, entre as quais se destaca a Lean Construction. Essa filosofia, introduzida por Koskela (1992), propõe a adaptação dos princípios da produção enxuta ao ambiente construtivo, com ênfase na eliminação de atividades que não agregam valor, na melhoria do fluxo produtivo e na redução de perdas.

Sob essa perspectiva, o processo construtivo passa a ser analisado para além da transformação de insumos em produto final, considerando também fluxos, interrupções, esperas e desperdícios presentes na execução. Quando articulada à sustentabilidade, a Lean Construction reforça a importância do uso racional de recursos e da prevenção de perdas materiais, aproximando eficiência produtiva e a responsabilidade ambiental.

Nesse cenário, a Linha de Balanço (LOB) destaca-se como uma ferramenta de planejamento e controle particularmente relevante, sobretudo em obras que apresentam repetição de serviços, como edifícios de múltiplos pavimentos e conjuntos habitacionais. Sua aplicação permite visualizar os ritmos de execução, a sequência das atividades e a movimentação das equipes ao longo do tempo, favorecendo maior estabilidade no fluxo produtivo.

Ao tornar mais clara a relação entre as etapas executivas e as frentes de trabalho, a LOB contribui para minimizar conflitos entre equipes, reduzir retrabalhos e otimizar o uso de materiais, ampliando seu potencial de aplicação em estratégias voltadas à diminuição de resíduos no canteiro de obras.

Diante do exposto, o presente estudo é orientado pelo seguinte problema de pesquisa: De que maneira a Linha de Balanço, enquanto ferramenta de planejamento e controle, pode contribuir para a redução de desperdícios e para a organização da gestão de resíduos em obras de engenharia civil, à luz dos princípios da Lean Construction?

A formulação dessa questão parte do entendimento de que os resíduos gerados nas obras não decorrem apenas da natureza do processo construtivo, mas também de falhas de planejamento, descontinuidade no fluxo de trabalho, incompatibilidades entre equipes e retrabalhos que intensificam perdas de materiais. Assim, investigar a contribuição da LOB significa analisar em que medida o planejamento pode atuar de forma preventiva sobre fatores que favorecem a geração de resíduos e comprometem a eficiência produtiva.

A pesquisa justifica-se pela relevância da gestão de resíduos na construção civil, considerando os impactos ambientais gerados pelo setor e a necessidade crescente de adoção de práticas mais eficientes e sustentáveis no processo construtivo. O elevado volume de resíduos gerados, associado ao consumo intensivo de matérias-primas, evidencia a necessidade de estudos voltados à racionalização de recursos e à redução de perdas na execução das obras, contribuindo para a promoção da sustentabilidade no setor.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo geral compreender como a aplicação da LOB pode melhorar a eficiência da gestão de resíduos em obras de engenharia civil, observando seus efeitos na redução de desperdícios e no fortalecimento de ações sustentáveis.

Especificamente, busca-se apresentar os principais conceitos, características e aplicações da LOB, analisar sua contribuição para a redução do desperdício e para a organização dos resíduos gerados, examinar sua relação com os princípios da Lean Construction e identificar, com base na literatura, os contextos em que sua aplicação tende a apresentar melhores resultados para a gestão de resíduos.

Quanto aos procedimentos metodológicos, este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, com abordagem qualitativa e caráter exploratório e descritivo, desenvolvida a partir do levantamento e da análise de produções acadêmicas relacionadas à Linha de Balanço, Lean Construction, gestão de resíduos e sustentabilidade na construção civil. Dessa forma, busca-se contribuir para o aprimoramento do planejamento e da eficiência produtiva no setor.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Compreender como a aplicação da Linha de Balanço pode melhorar a eficiência da gestão de resíduos em obras de engenharia civil, observando seus efeitos na redução de desperdícios e no fortalecimento de ações sustentáveis.

2.2. Objetivos Específicos

- Apresentar os principais conceitos, características e aplicações da metodologia LOB, compreendendo como ela se insere no planejamento e no acompanhamento das etapas de execução das obras.
- Analisar como a LOB pode contribuir para a redução do desperdício de materiais e para uma organização mais eficiente dos resíduos produzidos durante o processo de execução da obra.
- Examinar como a LOB se relaciona com os princípios da Lean Construction e de que maneira essa associação pode favorecer a redução de desperdícios e o aprimoramento da gestão de resíduos.
- Observar em quais tipos de obra e em quais contextos de execução a aplicação da LOB tende a apresentar melhores resultados para a gestão de resíduos, com base nos estudos e relatos identificados na literatura.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo fundamentou-se na pesquisa bibliográfica, adequada ao aprofundamento teórico de temas ainda pouco consolidados na literatura acadêmica, como a aplicação da Linha de Balanço na gestão de resíduos em obras de construção civil. Segundo Gil (2022), esse tipo de pesquisa permite analisar criticamente produções científicas já publicadas, compreendendo diferentes abordagens, metodologias e resultados sobre o fenômeno estudado.

O estudo envolveu a análise de livros, artigos, dissertações, teses e documentos técnicos, priorizando publicações que abordassem a Linha de Balanço, os princípios da Lean Construction e práticas de gestão de resíduos, permitindo integrar conceitos teóricos e experiências práticas relacionadas à sustentabilidade.

Os materiais coletados serviram de suporte teórico e analítico, subsidiando a interpretação crítica do problema de pesquisa e a construção de reflexões detalhadas. Essa escolha metodológica garantiu que o estudo se baseasse em informações confiáveis e atuais, permitindo compreender as contribuições da Linha de Balanço para o planejamento, controle e eficiência das obras, bem como para a promoção de práticas sustentáveis.

3.1. Tipo de Pesquisa e Abordagem

O estudo foi desenvolvido a partir de uma abordagem qualitativa, com o objetivo de compreender como os temas Linha de Balanço, Lean Construction e gestão de resíduos são abordados na literatura da construção civil. A análise concentrou-se na interpretação dos principais resultados e pontos apresentados pelos autores, com ênfase na aplicação da LOB e em sua relação com os princípios da Lean Construction e com a gestão de resíduos.

A pesquisa não teve como foco a quantificação direta da aplicação da LOB em obras, mas sim a análise de como essa ferramenta é abordada na literatura, possibilitando uma reflexão crítica sobre os estudos existentes e seu papel no contexto da construção civil (Creswell, 2021). Além disso, a pesquisa assumiu caráter exploratório e descritivo.

Tornou-se exploratória ao ampliar o entendimento da relação entre a Linha de Balanço, o planejamento de obras e a sustentabilidade, considerando que o tema ainda era pouco aprofundado no contexto brasileiro. Leão *et al.* (2024) destacam que, ao analisar o gerenciamento de resíduos no país, evidenciavam-se fragilidades e desafios que tornam este campo de estudo especialmente relevante. Simultaneamente, a pesquisa teve caráter descritivo, ao apresentar, organizar e interpretar informações sobre a LOB e suas

contribuições, consolidando uma base teórica consistente para orientar as etapas subsequentes.

Durante o processo de seleção, foram considerados como critérios de inclusão os materiais publicados entre 2010 e 2025, em português ou inglês, que apresentassem relação direta com os objetivos da pesquisa e abordassem, de forma teórica ou aplicada, a Linha de Balanço, a Lean Construction, a gestão de resíduos da construção civil e a sustentabilidade no setor.

Como critérios de exclusão, foram descartados os estudos que não tratavam diretamente do tema investigado, que apresentavam discussões distantes dos objetivos propostos, que não possuíam fundamentação metodológica explícita ou que não contribuíam para a compreensão da relação entre planejamento de obras, redução de desperdícios e gestão de resíduos.

O material examinado compreendeu artigos científicos, dissertações, teses e outros estudos acadêmicos com fundamentação teórica ou discussão conceitual relacionada ao tema. Trabalhos sem relação com os objetivos da pesquisa ou que não apresentassem base metodológica explícita foram descartados, garantindo a consistência da revisão bibliográfica.

3.2. Estratégia da Pesquisa

A revisão bibliográfica foi adotada como procedimento metodológico para examinar as produções científicas relacionadas ao tema. Yin (2015) destacou que estudos baseados em fontes documentais permitem compreender fenômenos contemporâneos mesmo sem coleta direta de dados. Essa revisão viabilizou a análise de como a Linha de Balanço vem sendo discutida na literatura, permitindo identificar experiências práticas, metodologias aplicadas e discussões sobre planejamento de obras e redução de desperdícios.

Além de fornecer embasamento conceitual, a revisão contribuiu para a compreensão detalhada do uso da LOB no planejamento de obras e na redução de desperdícios no canteiro, oferecendo subsídios teóricos sólidos para a análise crítica do estudo.

3.3. Procedimentos Metodológicos

As fontes de consulta utilizadas neste estudo foram selecionadas a partir de bases acadêmicas reconhecidas, como Google Scholar, Periódicos CAPES e SciELO, por reunirem produções relevantes para a engenharia civil. A partir dessas bases, foi possível

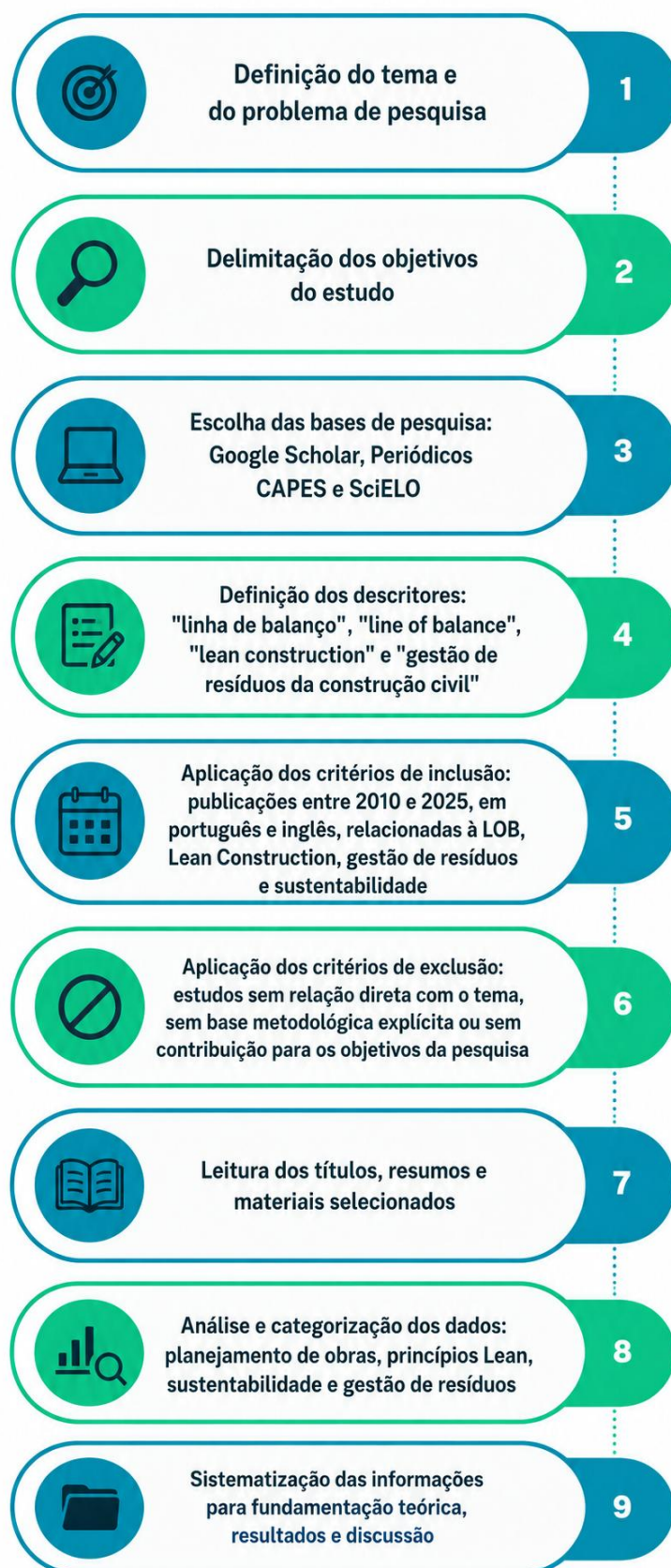
examinar criticamente os debates e aplicações da Linha de Balanço, contemplando tanto estudos nacionais quanto internacionais. Conforme destacam Lakatos e Marconi (2003), a qualidade de uma revisão bibliográfica está diretamente relacionada à escolha criteriosa das fontes. Dessa forma, incluíram-se estudos recentes e metodologicamente consistentes, capazes de fornecer suporte teórico adequado ao desenvolvimento da pesquisa.

Durante o levantamento bibliográfico, a prioridade foi identificar materiais que abordassem diretamente a Linha de Balanço, com ênfase em estudos que descreviam sua aplicação no planejamento e no controle da produção. Também foram incluídos trabalhos que relacionassem a LOB aos princípios da Lean Construction e à gestão de resíduos, permitindo compreender como essas abordagens se articulavam no contexto da construção civil.

Além disso, foram selecionados estudos que discutissem sustentabilidade no setor e os desafios associados à adoção de práticas mais eficientes de gerenciamento de resíduos. A leitura dos materiais foi realizada de forma progressiva, iniciando pela análise de títulos e resumos e avançando para a leitura detalhada das obras selecionadas, garantindo a inclusão de conteúdos relevantes para a fundamentação teórica e a análise crítica do estudo.

A organização dos procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa pode ser visualizada de forma sintética na Figura 1, a qual apresenta as principais etapas desenvolvidas ao longo do estudo, desde a definição do tema até a extração e organização das informações. Essa representação permite compreender de maneira estruturada o encadeamento das atividades realizadas, evidenciando a lógica sequencial do processo metodológico adotado.

Figura 1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Elaboração própria (2026).

A partir da análise do fluxograma, observa-se que o desenvolvimento da pesquisa seguiu uma sequência lógica e organizada, iniciando com a delimitação do tema e dos objetivos, seguida pelo levantamento bibliográfico e aplicação de critérios de seleção. As etapas subsequentes envolveram a leitura e análise dos materiais selecionados, culminando na extração e sistematização das informações. Essa estrutura metodológica contribuiu para garantir maior rigor na condução da pesquisa, assegurando a coerência entre os objetivos propostos e os resultados obtidos.

3.4. Análise dos Dados

A análise dos materiais coletados foi conduzida utilizando a técnica de análise de conteúdo, conforme proposta por Bardin (2016), que permite organizar, categorizar e interpretar informações de forma sistemática. Esse procedimento viabilizou a identificação de temas centrais, padrões recorrentes e aproximações conceituais entre os autores, promovendo interpretações detalhadas e fundamentadas.

Para estruturar o estudo, os dados foram agrupados em categorias temáticas diretamente relacionadas aos objetivos da pesquisa, como planejamento de obras, princípios Lean, sustentabilidade e gestão de resíduos. Essa categorização orientou a leitura, permitindo compreender claramente como os conceitos se articulam e assegurando que a análise considerasse tanto aspectos teóricos quanto práticos da aplicação da LOB na construção civil.

Com base nessa organização, a análise foi direcionada aos aspectos discutidos pelos autores sobre a aplicação da Linha de Balanço, sua relação com a redução de desperdícios e a gestão de resíduos. Essa abordagem viabilizou a identificação de contribuições, limitações e lacunas na literatura, especialmente quando a LOB foi examinada sob a perspectiva da sustentabilidade, fornecendo subsídios consistentes para a discussão dos resultados e a elaboração das conclusões do estudo.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Sustentabilidade e impactos ambientais na construção civil

A sustentabilidade consolidou-se como uma das principais pautas das discussões contemporâneas, especialmente diante da intensificação dos impactos provocados pelas atividades humanas sobre o meio ambiente. Embora a preocupação com o tema tenha adquirido maior visibilidade a partir das discussões internacionais promovidas ao longo da segunda metade do século XX, foi nas décadas seguintes que o conceito passou a ganhar maior densidade teórica e prática em diferentes setores da sociedade.

Nesse cenário, Boff (2017) destaca que a sustentabilidade emerge do reconhecimento dos limites do crescimento e da necessidade de repensar os modelos de desenvolvimento adotados. De modo semelhante, Sousa (2023) ressalta que o tema surge da necessidade de rever a exploração dos recursos naturais, buscando alternativas que evitem seu esgotamento e assegurem melhores condições de vida no presente e no futuro.

Sachs (2000) destaca que a sustentabilidade ambiental está associada à conservação dos recursos naturais e dos ecossistemas, enquanto a sustentabilidade social envolve aspectos como equidade, justiça social e bem-estar coletivo. Já a dimensão econômica relaciona-se à viabilidade das atividades humanas, sem comprometer o equilíbrio ambiental. No setor da construção civil, essa abordagem assume papel fundamental, uma vez que a sustentabilidade deve orientar o planejamento, a execução e a gestão dos recursos utilizados nas obras.

A concepção atual de sustentabilidade ultrapassa a ideia restrita de preservação ambiental, incorporando uma perspectiva mais abrangente, que integra as dimensões ambiental, social e econômica. De acordo com Yudelson (2013), esses três pilares estão diretamente relacionados à promoção da qualidade de vida no presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades.

No setor da construção civil, a articulação entre as dimensões ambiental, social e econômica torna-se ainda mais relevante em razão dos impactos gerados por essa atividade. Silva (2025) destaca que os investimentos em gestão ambiental deixaram de ser percebidos apenas como custos ou exigências legais, passando a ser compreendidos como estratégias importantes para a competitividade e para a responsabilidade socioambiental das organizações. Essa mudança de perspectiva reforça a necessidade de incorporar práticas sustentáveis à construção civil desde a concepção dos projetos até a execução e o uso das edificações.

Vale ressaltar que a construção civil está entre os setores que mais consomem recursos naturais e, por isso, exerce forte pressão sobre o meio ambiente. Garcia (2023), ao reunir dados do Ministério do Meio Ambiente e do Conselho Internacional da Construção, destaca que o setor se evidencia tanto pelo elevado consumo de recursos quanto pela significativa geração de resíduos sólidos. Esse cenário está relacionado à extração de matérias-primas, à fabricação de insumos, ao transporte, à execução das obras e ao descarte dos resíduos gerados ao longo do processo construtivo.

Tal realidade torna-se ainda mais preocupante diante do crescimento da urbanização e da expansão das demandas por habitação, infraestrutura e serviços. Conceição e Santos (2021) e Torres (2020) destacam que a ampliação da atividade construtiva intensifica a degradação dos ecossistemas e aumenta a pressão sobre elementos como água, energia e matérias-primas.

Assim, os impactos da construção civil não se limitam ao momento da execução da obra, mas estão presentes em todo o seu ciclo produtivo. Além do consumo intensivo de recursos, há também a emissão de poluentes, a modificação da paisagem, a geração de resíduos e os efeitos indiretos sobre a qualidade ambiental dos espaços urbanos. Discutir sustentabilidade na construção civil significa refletir não apenas sobre a necessidade de construir, mas também sobre como construir de modo mais racional, eficiente e ambientalmente responsável.

Torna-se fundamental, portanto, compreender o conceito de impacto ambiental para situar a construção civil nesse debate. Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 001/1986, considera-se impacto ambiental qualquer alteração nas características físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente, decorrente de atividades humanas, que possa afetar a saúde e o bem-estar da população, os ecossistemas, as atividades econômicas e a qualidade dos recursos naturais (Brasil, 1986).

No caso da construção civil, esses impactos se manifestam, por exemplo, na emissão de gases de efeito estufa, na contaminação do solo e da água, na supressão da vegetação e na geração significativa de resíduos ao longo das etapas construtivas. Santos *et al.* (2023) observam que o descarte inadequado desses resíduos pode gerar prejuízos socioambientais relevantes, como assoreamento de corpos hídricos, obstrução de bueiros e proliferação de vetores.

Diante disso, a construção sustentável apresenta-se como uma resposta à necessidade de compatibilizar crescimento urbano, atividade construtiva e preservação ambiental. Silva *et al.* (2017) destacam que a edificação sustentável representa uma

evolução na forma de conceber, construir e utilizar os edifícios, incorporando práticas responsáveis desde a etapa de projeto até a fase de operação.

Barbosa (2021) também reforça que a sustentabilidade deve permear todas as fases da obra, articulando economia de recursos, preservação ambiental e bem-estar coletivo. Nessa perspectiva, a Figura 2 ilustra as principais etapas do ciclo construtivo, evidenciando que as decisões relacionadas à sustentabilidade se distribuem ao longo de todo o empreendimento.

Figura 2 - Etapas principais do ciclo construtivo.



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Do Nascimento *et al.* (2022).

A partir dessa representação, percebe-se que as decisões relacionadas ao uso de recursos, à execução da obra e à gestão dos impactos ambientais não se concentram em uma única etapa, mas se distribuem ao longo de todo o ciclo construtivo. Entre as práticas mais associadas à construção sustentável, destacam-se a eficiência energética, o uso racional da água, a escolha adequada de materiais, a reutilização e a reciclagem de insumos, além do gerenciamento eficiente dos resíduos da construção civil.

Silva (2025) destaca que parcela significativa dos resíduos sólidos urbanos brasileiros está relacionada às atividades construtivas, o que reforça a necessidade de medidas de gestão mais sustentáveis no setor. Do Nascimento *et al.* (2022) apontam que ações mitigadoras podem ser adotadas em diferentes fases do processo construtivo, incluindo o planejamento de materiais, a redução de desperdícios, o reaproveitamento de componentes e a reciclagem.

Na mesma direção, Cavalcante (2022) destaca que práticas sustentáveis vêm sendo cada vez mais incorporadas ao setor, diante da necessidade de conciliar viabilidade

econômica e responsabilidade ambiental. Os princípios dos 3Rs, reduzir, reutilizar e reciclar, também assumem papel importante nessa discussão, funcionando como diretrizes para a diminuição dos impactos ambientais e para a melhoria do desempenho das obras.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, reduzir corresponde à adoção de medidas voltadas à diminuição do consumo e da geração de resíduos; reutilizar significa atribuir novo uso a materiais ainda aproveitáveis; e reciclar refere-se ao processamento de resíduos para transformá-los em matéria-prima de novos produtos.

No contexto da construção civil, Silva (2025) destaca que a redução pode ser favorecida por meio de planejamento adequado, compatibilização de quantitativos e melhor controle dos materiais desde a fase de projeto. Já a reutilização e a reciclagem permitem reaproveitar componentes e minimizar a destinação inadequada de resíduos.

Essa organização demonstra que a sustentabilidade no setor depende de ações preventivas e corretivas, articuladas ao planejamento da obra e ao gerenciamento dos materiais e resíduos gerados. Assim, a sustentabilidade na construção civil deve ser compreendida como uma diretriz ampla, que envolve planejamento, uso racional dos recursos, inovação e responsabilidade socioambiental. Lopes *et al.* (2023) observam que sua aplicação no setor vai além da redução dos impactos ambientais, abrangendo também dimensões sociais, econômicas e culturais.

Marques *et al.* (2025) reforçam que, no contexto da construção civil, buscar sustentabilidade significa conciliar a necessidade de construir com a preservação do meio ambiente e com o uso mais responsável dos recursos. Sob essa perspectiva, a discussão sobre sustentabilidade e impactos ambientais constitui base essencial para compreender a importância da gestão de resíduos e, posteriormente, o papel das ferramentas de planejamento no fortalecimento de práticas mais eficientes e sustentáveis.

4.2. A construção civil e a gestão de resíduos

A gestão de resíduos na construção civil constitui um dos principais desafios para a promoção da sustentabilidade no setor, especialmente diante do elevado volume de materiais descartados durante a execução das obras. Esse debate ganhou maior relevância à medida que se ampliou a compreensão de que os resíduos da construção civil não representam apenas um problema operacional dos canteiros, mas também uma questão ambiental, econômica e social (Silva, 2025).

Nesse debate, Junior *et al.* (2024) destacam que os resíduos da construção civil exercem forte influência sobre os recursos naturais e sobre o meio urbano, o que reforça

a necessidade de sua inserção nas discussões sobre sustentabilidade e planejamento da produção. A geração de resíduos na construção civil está diretamente relacionada à diversidade e à complexidade das atividades desenvolvidas no setor. Obras de edificação, infraestrutura, reformas, ampliações e demolições produzem materiais descartados em diferentes quantidades e composições, o que torna o gerenciamento mais desafiador.

Silva (2025) ressalta que a produção desses resíduos decorre não apenas da execução direta da obra, mas também de atividades secundárias ligadas ao fornecimento de bens e serviços. Além disso, a intensidade da geração de resíduos acompanha, em grande medida, o aumento do consumo de insumos como cimento, aço, cerâmica, argamassa e concreto, o que evidencia a relação entre produção construtiva e aumento da pressão ambiental.

No cenário brasileiro, a expressividade dessa geração reforça a necessidade de maior atenção ao tema. Dados apresentados pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição indicam que o volume de resíduos da construção civil continua elevado, o que evidencia a permanência de desafios relacionados ao reaproveitamento e à destinação adequada desses materiais.

A Abrema (2023) aponta que a geração de resíduos da construção civil alcançou cerca de 45 milhões de toneladas em 2023, confirmando a representatividade desse tipo de resíduo no conjunto dos resíduos urbanos produzidos no país. Tal realidade demonstra que o setor precisa avançar não apenas em produtividade e inovação construtiva, mas também em estratégias eficazes de gerenciamento dos resíduos que produz.

No Brasil, a gestão dos resíduos da construção civil é regulamentada por instrumentos legais e normativos que orientam sua classificação, manejo e destinação. Entre esses dispositivos, destaca-se a Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), definindo os resíduos da construção civil como aqueles provenientes de atividades como construções, reformas, reparos, demolições, além da preparação e escavação de terrenos (Brasil, 2010).

A referida legislação estabelece uma hierarquia de prioridades para o gerenciamento dos resíduos, priorizando a não geração, seguida da redução, reutilização, reciclagem, tratamento e, por fim, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Essa diretriz evidencia que o gerenciamento eficiente deve ser orientado por ações preventivas, voltadas à minimização da geração de resíduos, e não apenas por estratégias relacionadas à sua destinação final. Complementarmente, o Quadro 1 apresenta algumas normas técnicas aplicáveis à gestão dos resíduos da construção civil.

Quadro 1 - Principais normas técnicas aplicáveis à gestão dos resíduos da construção civil.

Norma técnica	Objetivo
ABNT NBR 15112:2004 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.	Estabelece diretrizes para projeto, implantação e operação de Áreas de Transbordo e Triagem (ATT) de resíduos da construção civil e resíduos volumosos.
ABNT NBR 15113:2004 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.	Estabelece diretrizes para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos da construção civil e resíduos inertes.
ABNT NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação.	Classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, visando orientar seu manejo, armazenamento, transporte, tratamento e disposição final adequada.
Resolução CONAMA nº 307/2002, alterada pelas Resoluções nº 431/2011, nº 448/2012 e nº 469/2015.	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, incluindo sua classificação, responsabilidades dos geradores, formas de manejo, triagem, reutilização, reciclagem e destinação ambientalmente adequada.

Fonte: Elaboração própria, com base na ABNT e nas Resoluções CONAMA nº 307/2002, nº 431/2011, nº 448/2012 e nº 469/2015.

A observação dessas normas e instrumentos normativos reforça o caráter técnico e legal do gerenciamento dos resíduos, orientando desde a classificação até as condições adequadas de armazenamento, transporte, tratamento e destinação final. Nesse conjunto, a Resolução CONAMA nº 307/2002 constitui uma referência central, pois estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil no Brasil.

Essa resolução atribui aos geradores a responsabilidade pelo gerenciamento e pela destinação ambientalmente adequada dos resíduos, orientando a adoção de práticas de segregação, acondicionamento, transporte, reutilização, reciclagem e disposição final. Sua importância está no fato de organizar a gestão dos RCC dentro de uma lógica mais estruturada, articulando responsabilidades, classificação dos resíduos e possibilidades de reaproveitamento.

Entretanto, é importante destacar que a Resolução CONAMA nº 307/2002 passou por alterações posteriores, que atualizaram aspectos relevantes da classificação e do gerenciamento dos resíduos. Entre essas alterações, destaca-se a Resolução CONAMA nº 431/2011, que reclassificou o gesso como resíduo Classe B; a Resolução CONAMA nº 448/2012, que adequou dispositivos da norma à Política Nacional de Resíduos Sólidos; e

a Resolução CONAMA nº 469/2015, que incluiu as embalagens vazias de tintas imobiliárias, com filme seco de tinta, entre os resíduos recicláveis da Classe B.

A classificação dos resíduos da construção civil constitui uma etapa fundamental para orientar as formas adequadas de manejo e destinação. Conforme a Resolução CONAMA nº 307/2002 e suas alterações posteriores, esses resíduos são organizados em diferentes categorias, de acordo com suas características, riscos e possibilidades de reaproveitamento.

Nesse sentido, a Classe A corresponde aos resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados. A Classe B abrange resíduos recicláveis para outras destinações, como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e embalagens vazias de tintas imobiliárias, desde que observadas as condições estabelecidas na legislação. Já a Classe C inclui resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que possibilitem sua reciclagem ou recuperação. Por fim, a Classe D reúne materiais perigosos ou contaminados, que exigem tratamento e destinação específicos.

Essa classificação é importante porque permite direcionar os materiais para tratamentos e destinos compatíveis com suas características, favorecendo a gestão mais segura e eficiente dos resíduos gerados nas obras. O Quadro 2 apresenta, de forma sintetizada, a classificação dos resíduos da construção civil, bem como suas respectivas definições e formas de destinação.

Quadro 2 - Classificação e disposição dos RCC.

Classe	Definição/Origem	Disposição
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, provenientes de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação, obras de infraestrutura, componentes cerâmicos, argamassa, concreto e solos provenientes de terraplanagem.	Devem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a áreas de reservação de resíduos da construção civil, de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações, como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, gesso e embalagens vazias de tintas imobiliárias, desde que contenham apenas filme seco de tinta em seu revestimento interno.	Devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.
Classe C	Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que possibilitem sua reciclagem ou recuperação.	Devem ser armazenados, transportados e destinados de forma adequada, conforme normas técnicas específicas e exigências dos órgãos competentes.
Classe D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como tintas, solventes, óleos e outros materiais contaminados ou prejudiciais à saúde, bem como aqueles provenientes de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e similares.	Devem ser armazenados, transportados, tratados e destinados conforme normas técnicas específicas, em razão de seu potencial de periculosidade.

Fonte: Elaboração própria, com base na Resolução CONAMA nº 307/2002 e em suas alterações pelas Resoluções CONAMA nº 431/2011, nº 448/2012 e nº 469/2015.

A classificação apresentada no Quadro 2 é fundamental para orientar a segregação e a destinação adequada dos materiais, tornando o gerenciamento mais seguro e eficiente. Além dessa classificação, o gerenciamento dos resíduos também demanda organização operacional no canteiro de obras. Leite *et al.* (2018) ressaltam a importância da coleta seletiva e da correta identificação dos materiais por meio do código de cores definido pela Resolução CONAMA nº 275/2001, o que facilita a segregação, o armazenamento e o transporte.

A adoção desse sistema contribui para evitar a mistura indevida entre resíduos com diferentes potenciais de reaproveitamento e destinação. Assim, a correta separação dos materiais no local de geração constitui uma das etapas mais importantes para tornar viável a reutilização, a reciclagem e o encaminhamento ambientalmente adequados dos resíduos da construção civil.

No campo prático, a gestão de resíduos exige planejamento prévio e definição de procedimentos específicos para o canteiro de obras. Um dos instrumentos mais relevantes nesse processo é o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC),

elaborado antes da fase executiva com o objetivo de estimar a geração dos resíduos e definir as medidas adequadas para seu manejo. Silva (2025) observa que esse plano deve contemplar quantificação, classificação, formas de segregação, estratégias de redução, reaproveitamento, reciclagem e destinação final.

Marchesini (2021) complementa que o PGRCC permite organizar o gerenciamento de forma sistemática, estabelecendo metas e rotinas que favorecem maior controle sobre os resíduos gerados ao longo da obra. A Figura 3 apresenta, de forma esquemática, as principais etapas que compõem o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, evidenciando o encadeamento das ações necessárias para o manejo adequado dos resíduos no canteiro de obras.

Figura 3 - Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC).



Fonte: Elaboração própria, adaptado de Oliveira *et al.* (2018).

A representação do PGRCC apresentada na Figura 3 evidencia que o gerenciamento dos resíduos deve ocorrer de forma articulada e contínua, desde sua classificação e quantificação até as etapas de acondicionamento, transporte e destinação final. Além disso, o processo incorpora práticas voltadas à redução, reutilização e reciclagem dos materiais, reforçando o caráter sustentável do gerenciamento. A importância desse plano reside no fato de que ele contribui para transformar a gestão de

resíduos em uma atividade planejada, integrada e alinhada às boas práticas adotadas no setor da construção civil.

Pinto e Silva (2023) destacam que a implementação do PGRCC, prevista na legislação ambiental, busca promover uma gestão mais eficiente e sustentável nos canteiros. Isso significa que o gerenciamento de resíduos não deve ocorrer apenas como resposta ao problema já instalado, mas como ação preventiva, articulada às demais decisões do processo construtivo. Quando elaborado adequadamente, o plano favorece melhor organização do canteiro, redução de desperdícios e maior conformidade legal e ambiental.

Contudo, a existência da legislação e dos instrumentos formais de gestão não garante, por si só, a efetividade das práticas no cotidiano das obras. Gonçalves e Haubrick (2020) destacam que a forma como os resíduos são gerenciados durante a execução interfere diretamente tanto no desempenho produtivo quanto nos impactos ambientais do canteiro. Hasan *et al.* (2024) reforçam que falhas de planejamento, problemas de comunicação e desarticulação entre os setores envolvidos estão entre os principais fatores que agravam a geração de perdas e o gerenciamento ineficiente dos resíduos.

Em realidades locais com menor estrutura de fiscalização e destinação, como ocorre em muitos municípios do interior, essas dificuldades tendem a se tornar ainda mais evidentes, exigindo maior atenção à organização do processo construtivo. Por isso, práticas operacionais adequadas são indispensáveis para garantir a efetividade do gerenciamento dos resíduos. Keeler e Burke (2010) recomendam que os empreiteiros definam previamente um plano escrito, especificando quais materiais poderão ser removidos, separados ou reaproveitados durante a obra.

Além disso, a utilização de contêineres para coleta seletiva, áreas destinadas ao armazenamento temporário e procedimentos de controle documental da destinação contribui para maior eficiência no processo. Medidas como sinalização adequada, organização das baias de resíduos e capacitação das equipes também se mostram fundamentais para a boa gestão dos materiais descartados.

Além da destinação adequada, o reaproveitamento e a reciclagem de materiais representam estratégias relevantes para reduzir impactos ambientais e custos da obra. Severiano (2021) observa que grande parte do entulho gerado nas construções possui potencial de reaproveitamento e reciclagem, podendo retornar à cadeia produtiva sob novas formas. Isso significa que resíduos frequentemente vistos apenas como descarte

podem, quando corretamente separados e processados, assumir valor econômico e ambiental.

Essa perspectiva reforça o entendimento de que a gestão de resíduos não deve ser tratada apenas como exigência legal, mas como componente estratégico da sustentabilidade e da racionalização produtiva no setor da construção civil. Portanto, a gestão de resíduos exige articulação entre legislação, planejamento, organização do canteiro e práticas operacionais eficientes.

O elevado volume de RCC produzido no país, aliado aos impactos decorrentes de seu manejo inadequado, demonstra a necessidade de modelos de gestão mais estruturados e preventivos. Desse modo, torna-se evidente que o gerenciamento dos resíduos está diretamente relacionado à forma como a obra é planejada e executada, o que aproxima essa discussão das ferramentas de planejamento e controle da produção, como a Linha de Balanço.

4.3. Os princípios da Lean Construction

A Lean Construction constitui uma abordagem de gestão voltada à melhoria dos processos produtivos na construção civil, tendo como fundamento a adaptação dos princípios da produção enxuta ao ambiente das obras. Seu desenvolvimento decorre da percepção de que os modelos tradicionais de planejamento e controle da produção, centrados apenas na transformação de insumos em produtos finais, eram insuficientes para lidar com a complexidade, a variabilidade e os desperdícios presentes nos canteiros.

Diante dessa realidade, Formoso (2015) destaca que técnicas inicialmente desenvolvidas na indústria manufatureira passaram a ser incorporadas à construção civil como alternativa para elevar a eficiência produtiva e aprimorar a organização das atividades. A base conceitual da Lean Construction está associada ao Sistema Toyota de Produção e à filosofia da Lean Production, consolidada internacionalmente como referência para a eliminação de desperdícios e a melhoria contínua dos processos.

Venturini (2015) observa que essa metodologia representa a adaptação, para a construção civil, dos princípios que orientaram o modelo de produção enxuta desenvolvido no Japão. A difusão mundial dessa lógica foi ampliada por estudos que demonstraram a superioridade do sistema enxuto em relação à produção em massa, especialmente pela capacidade de produzir com maior eficiência, menor desperdício e maior foco no valor entregue ao cliente.

Nesse debate, o trabalho de Lauri Koskela foi decisivo para a consolidação da Lean Construction como abordagem teórica e prática específica do setor da construção.

Koskela (1992), em seu estudo clássico sobre a aplicação da nova filosofia da produção à construção, propôs uma mudança de paradigma ao defender que o processo construtivo não deveria ser compreendido apenas como transformação de entradas em saídas, mas também como fluxo de materiais, informações e atividades ao longo do tempo.

A partir dessa visão, o autor formulou onze princípios para a construção enxuta, que orientam a reorganização dos processos produtivos no setor da construção civil. O Quadro 3 apresenta, de forma sintetizada, esses princípios, acompanhados de exemplos que ilustram sua aplicação no contexto das obras.

Quadro 3 - Princípios da construção enxuta.

Princípios	Exemplos
Reduzir atividades que não agregam valor	Atividades que consomem tempo e recursos, como transporte e inspeção.
Agregar valor ao produto conforme cliente	Entende-se cliente como interno ou externo e são as atividades que convertem materiais ou informações conforme especificação do cliente.
Reduzir variabilidade	Eficiência operacional e redução dos processos.
Reduzir tempo de ciclo	Redução de processos, otimização de layout e alteração da sequência do processo.
Simplificar ou reduzir o número de atividades	Simplificar atividades, seja utilizando elementos pré-fabricados e equipes polivalentes, por exemplo.
Aumentar flexibilidade	A partir do cliente gerar possíveis alterações que agregam valor ao produto.
Aumentar transparência	Melhoria na identificação de erros no sistema e gestão visual dentro da obra.
Controle global do processo	Visualização do processo global a fim de otimizá-lo.
Melhoria contínua	Melhorias relacionadas a redução de desperdícios e aumento do valor ao cliente.
Balanceamento entre fluxos e conversões	Melhorias de fluxos estão relacionadas às melhorias de conversão, ou seja, quando se otimiza um processo também estará promovendo uma menor variabilidade de conversão nos processos.
Benchmarking	Comparações de práticas e resultados com outras empresas do setor ou de outros setores.

Fonte: Elaboração própria, com base em Do Prado, Calderaro e Piran (2019).

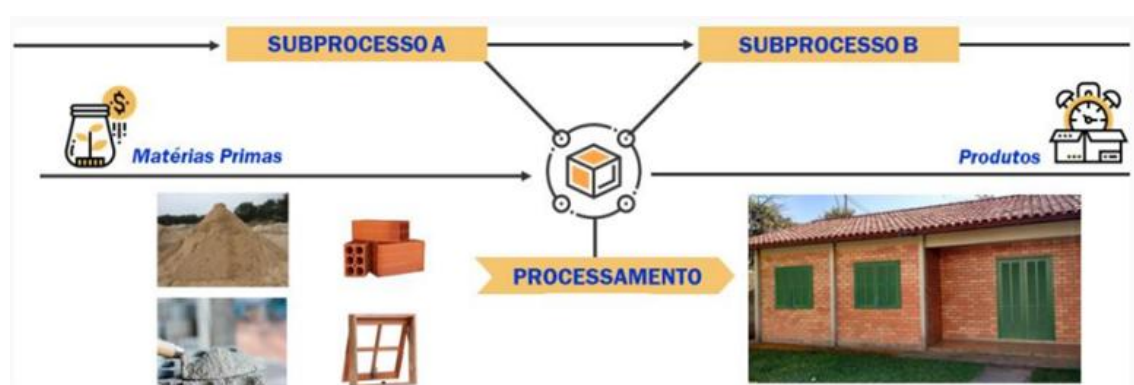
Os princípios apresentados no Quadro 3 passaram a servir de base para a reestruturação das práticas de planejamento e gestão na construção civil. Em conjunto, evidenciam que a Lean Construction propõe uma reorganização do processo construtivo orientada à geração de valor, à melhoria do fluxo e à redução de desperdícios. A

contribuição de Koskela também é importante por ampliar a compreensão do que representa valor dentro do processo produtivo.

Na abordagem tradicional, o foco tende a recair apenas sobre as atividades que transformam materiais em produto final, enquanto tempos de espera, movimentos, inspeções, retrabalhos e interrupções acabam sendo naturalizados como parte do processo. Na lógica enxuta, por outro lado, tais elementos são reconhecidos como perdas que precisam ser identificadas e reduzidas.

Koskela (2000) aprofunda essa discussão ao demonstrar que a produção deve ser analisada de forma sistêmica, considerando tanto as atividades que agregam valor quanto aquelas que não agregam, mas consomem recursos e comprometem o desempenho global da obra. Nesse sentido, a Figura 4 ilustra a visão tradicional do processo produtivo, centrada predominantemente na transformação dos insumos em produto final.

Figura 4 - Exemplo de processo na visão tradicional.



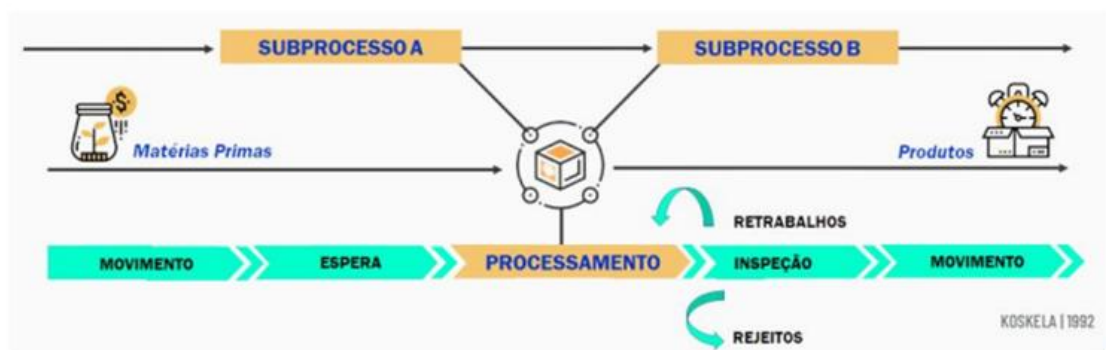
Fonte: Adaptado de Koskela (1992) apud Kemmer (2021).

Essa representação ajuda a compreender as limitações do modelo tradicional, que tende a invisibilizar etapas intermediárias e perdas presentes ao longo do processo construtivo. A visão sistêmica aproxima a Lean Construction de uma compreensão mais ampla dos fluxos produtivos. Shingo (1988) explica que os sistemas de produção operam por meio de redes compostas por processos e operações, nas quais os processos estão relacionados ao fluxo de materiais no tempo e no espaço, enquanto as operações dizem respeito ao fluxo de trabalhadores e equipamentos.

Ao transferir essa lógica para a construção civil, torna-se possível perceber que a eficiência do empreendimento depende não apenas da execução de atividades isoladas, mas da forma como essas atividades se articulam entre si. Assim, a melhoria do fluxo produtivo passa a ser entendida como elemento central para reduzir interrupções, ociosidades, incompatibilidades e desperdícios no canteiro. Em contraposição à figura

anterior, a Figura 5 apresenta a visão Lean do processo produtivo, incorporando fluxos, esperas, inspeções, retrabalhos e rejeitos.

Figura 5 - Exemplo de processo na visão Lean.



Fonte: Adaptado de Koskela (1992) apud Kemmer (2021).

A comparação entre as duas abordagens evidencia que a lógica enxuta amplia a análise da produção, permitindo identificar perdas e oportunidades de melhoria ao longo de todo o fluxo de trabalho. No contexto da construção civil, a presença de perdas produtivas constitui uma das principais justificativas para a adoção dessa filosofia. Em muitos empreendimentos, parte significativa das atividades executadas não agrega valor ao produto final, embora consuma tempo, recursos e esforço das equipes.

Da Silva Etges (2018), em estudo voltado ao contexto brasileiro, identificou que parcela significativa das atividades observadas no ambiente construtivo se enquadra nessa condição, o que evidencia a necessidade de rever práticas obsoletas de planejamento, logística e coordenação da produção. Sob essa perspectiva, a Lean Construction se apresenta como alternativa para enfrentar problemas recorrentes, como retrabalho, paralisações, incompatibilidades entre etapas, má distribuição de recursos e desperdício de materiais.

A discussão sobre valor também foi aprofundada por Womack e Jones (2004), que sistematizaram os fundamentos do pensamento enxuto em cinco princípios centrais: valor, cadeia de valor, fluxo, produção puxada e perfeição. Para os autores, o valor deve ser definido a partir das necessidades do cliente; a cadeia de valor compreende o conjunto de atividades necessárias à entrega do produto; o fluxo deve ocorrer de forma contínua, evitando interrupções; a produção puxada deve ser orientada pela demanda real; e a perfeição deve ser buscada por meio de melhoria contínua.

Tais princípios possuem forte aderência à construção civil, setor em que atrasos, desperdícios e ineficiências muitas vezes decorrem da descontinuidade do fluxo e da

ausência de articulação entre as diferentes etapas do processo. A eliminação de desperdícios é um dos eixos mais importantes da Lean Construction. Kurek *et al.* (2013) afirmam que a mentalidade enxuta possui como fundamento central a supressão de desperdícios, enquanto Eivindson *et al.* (2017) destacam os sete tipos clássicos de desperdícios herdados do Sistema Toyota como referência útil para identificar perdas ao longo dos processos.

Na construção civil, esses desperdícios podem ser percebidos em estoques excessivos de materiais, tempo de espera entre atividades, movimentações desnecessárias, retrabalhos, superprodução, transportes inadequados e processos que não agregam valor. Com a finalidade de sistematizar esses desperdícios, o Quadro 4 apresenta exemplos de perdas recorrentes no ambiente da obra sob a ótica da construção enxuta.

Quadro 4 - Desperdícios da construção enxuta.

Desperdícios	Exemplos
Transporte	Movimentações desnecessárias de materiais entre obras ou dentro do canteiro, decorrentes de falhas de planejamento.
Estoque	Armazenamento excessivo de materiais no canteiro de obras, ocupando espaço e aumentando o risco de deterioração.
Movimento	Deslocamentos desnecessários de materiais, operários e ferramentas no ambiente da obra.
Espera	Intervalos ociosos entre uma operação e outra, comprometendo a continuidade do fluxo produtivo.
Excesso de produção	Produção antecipada de itens antes do momento necessário ou fabricação de elementos que não foram demandados pelo cliente.
Processos desnecessários	Execução de etapas ou procedimentos que não agregam valor ao produto final.
Defeitos	Ocorrência de falhas que resultam em retrabalho e insatisfação do cliente em relação ao produto entregue.

Fonte: Elaboração própria, com base em Eivindson *et al.* (2017).

A identificação desses desperdícios é essencial para o aprimoramento do planejamento e do controle da produção, especialmente em situações que buscam maior eficiência e menor geração de perdas. Bonesi-De Luca *et al.* (2024) observam que a lógica enxuta busca sincronizar os processos de forma que se elimine tanto “trabalhadores esperando pelo trabalho” quanto “trabalho esperando pelos trabalhadores”.

Essa formulação evidencia o papel da coordenação e do balanceamento das atividades para o funcionamento contínuo da produção. Quando o planejamento não

considera adequadamente os ritmos de execução, as dependências entre etapas e a disponibilidade de recursos, tendem a surgir períodos de ociosidade, paralisação e descompasso entre as equipes.

Desse modo, a Lean Construction propõe uma produção mais estável, coordenada e previsível. Outro aspecto relevante dentro da filosofia enxuta refere-se à gestão da cadeia de suprimentos. Xing *et al.* (2021) destacam que o gerenciamento adequado dessa cadeia significa garantir que os recursos estejam disponíveis no momento certo, na quantidade adequada e com os materiais, equipamentos e mão de obra necessários à execução das tarefas.

Dave *et al.* (2016) reforçam que o fluxo de orientações e o fluxo de controle são decisivos nesse processo, já que as orientações viabilizam a execução e o controle oferece subsídios para o planejamento das etapas seguintes. Em obras com múltiplas frentes de trabalho, essa integração entre suprimentos, execução e controle torna-se fundamental para reduzir interrupções, minimizar perdas e manter a continuidade produtiva.

A literatura tem reforçado a relevância da Lean Construction para a melhoria do desempenho dos empreendimentos. Do Prado, Calderaro e Piran (2019) observam que a filosofia enxuta permite identificar e transformar elementos da cadeia produtiva que interferem em atrasos, perdas e dificuldades de execução.

Aslam, Gao e Smith (2020) apontam que, em comparação com métodos tradicionais, a adoção do pensamento enxuto eleva significativamente a probabilidade de conclusão dos projetos dentro do prazo e do orçamento previstos. Assim, a Lean Construction contribui para a organização do processo produtivo, a redução de desperdícios e a melhoria da eficiência nas obras, aproximando-se diretamente das discussões sobre planejamento, sustentabilidade e gestão de resíduos na construção civil.

No contexto desta pesquisa, a Lean Construction mostra-se particularmente relevante por sua aproximação com a sustentabilidade e com a gestão de resíduos na construção civil. Almeida e Picchi (2018) observam que há convergência entre construção enxuta e sustentabilidade, uma vez que ambas buscam reduzir perdas, racionalizar o uso de recursos e melhorar o desempenho do processo produtivo.

Gomes, De Oliveira e Heineck (2021), ao organizarem princípios da Lean em dimensões como fluxo, ciclo e coordenação, reforçam que o alinhamento entre esses elementos favorece a eficiência produtiva e a minimização de desperdícios. Assim, a filosofia enxuta não se limita à melhoria da produtividade, mas também contribui para práticas mais responsáveis no uso de materiais e na organização das atividades.

Ao enfatizar a continuidade da produção, o controle das perdas e a busca por valor, essa abordagem oferece fundamentos importantes para analisar ferramentas de planejamento que se alinham a tais princípios. Entre essas ferramentas, a LOB se destaca por sua capacidade de representar graficamente o ritmo de execução e a articulação entre equipes, motivo pelo qual será discutida no tópico seguinte como instrumento de apoio à gestão mais eficiente e sustentável das obras.

4.4. Princípios da Linha de Balanço no planejamento de obra

A Linha de Balanço (LOB) é uma técnica de planejamento e controle amplamente utilizada em processos caracterizados pela repetição de atividades. Sua origem está vinculada ao setor industrial, tendo sido inicialmente empregada pela Goodyear na década de 1940 e, posteriormente, pela Marinha dos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial, como forma de controlar fluxos produtivos contínuos.

Johnston (1981) registra que a técnica foi desenvolvida para acompanhar o desempenho de sistemas de produção seriada, possibilitando maior visibilidade sobre o ritmo de execução das atividades. Com o passar do tempo, a LOB foi incorporada ao setor da construção civil, especialmente em obras cuja lógica executiva apresenta repetitividade espacial e temporal.

Na construção civil, a LOB passou a ser utilizada principalmente em empreendimentos como edifícios de múltiplos pavimentos, conjuntos habitacionais, estradas, pontes e obras lineares em geral. Mendes Jr. (1999) destaca que diferentes pesquisadores contribuíram para adaptar a técnica ao contexto construtivo, buscando integrá-la a métodos matemáticos e computacionais que ampliassem sua aplicabilidade.

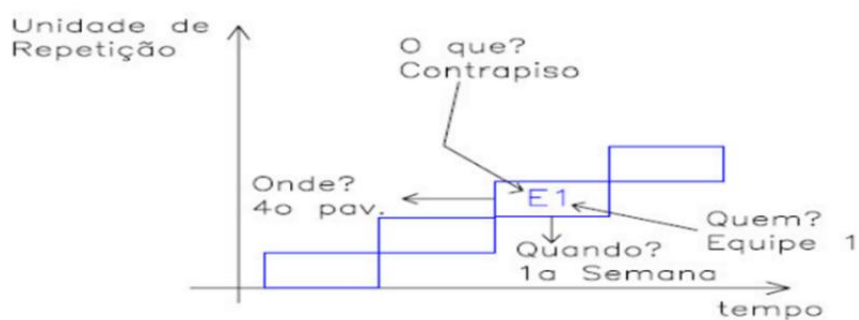
Essa difusão ocorreu porque a LOB se mostrou particularmente adequada para representar atividades repetitivas distribuídas em unidades ou trechos semelhantes, favorecendo a visualização da sequência de execução e do ritmo de avanço das equipes. Em estudos recentes, Péricas (2023) reforça que a técnica continua relevante no planejamento da construção, especialmente em sistemas que exigem controle rigoroso do fluxo produtivo.

Do ponto de vista conceitual, a LOB é um diagrama que representa simultaneamente tempo e espaço de execução da obra. Lorenzon (2008) explica que, em sua forma gráfica, o eixo horizontal corresponde ao tempo, enquanto o eixo vertical representa as unidades repetitivas ou os locais onde as atividades são executadas, como pavimentos, lotes, trechos ou módulos. As atividades são representadas por linhas

inclinadas, cuja posição e inclinação permitem visualizar sua duração, sua sequência e seu ritmo de execução.

Mattos (2019) complementa que a principal característica da LOB é justamente tornar visível o avanço das frentes de trabalho ao longo das unidades construtivas, o que a diferencia de outros instrumentos mais tradicionais de planejamento. Nessa abordagem, a Figura 6 apresenta, de forma didática, os elementos básicos de leitura da Linha de Balanço, destacando a relação entre atividade, unidade de repetição, tempo e equipe.

Figura 6 - Informações da Linha de Balanço.



Fonte: Mattos (2019).

A partir da representação apresentada na Figura 6, observa-se que a LOB permite acompanhar o deslocamento das equipes ao longo das unidades de repetição, evidenciando o ritmo de execução de cada atividade. Essa visualização contribui para identificar possíveis interferências entre frentes de trabalho, atrasos, períodos de espera e sobreposições inadequadas, aspectos que podem comprometer a produtividade e gerar desperdícios no canteiro de obras.

Além da visualização gráfica, a LOB também contribui para a organização do planejamento por permitir a comparação entre o ritmo previsto e o ritmo efetivamente executado. Com isso, torna-se possível acompanhar o avanço das atividades e realizar ajustes durante a execução da obra, favorecendo maior controle sobre prazos, equipes e recursos.

A utilização da técnica também favorece a identificação de atividades críticas e de possíveis conflitos entre equipes. Quando duas atividades apresentam ritmos incompatíveis ou se aproximam excessivamente no gráfico, pode haver risco de interferência no canteiro, o que exige reprogramação ou ajuste na sequência executiva. Desse modo, a LOB contribui para tornar o planejamento mais claro, visual e preventivo.

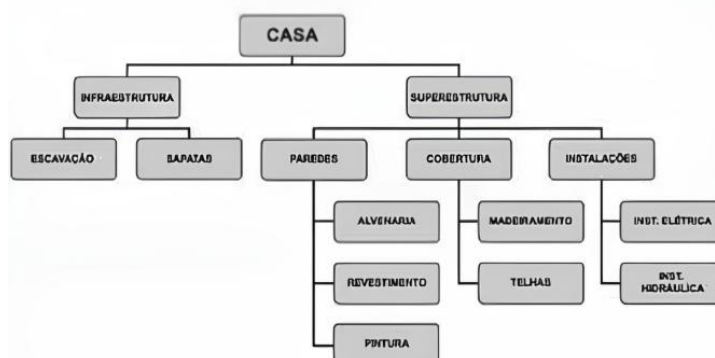
Essa característica é especialmente relevante em obras repetitivas, nas quais pequenas descontinuidades no fluxo podem gerar impactos significativos sobre a produtividade e sobre o desempenho global da obra. A melhoria do fluxo de trabalho proporcionada pela LOB também possui relação direta com a redução de desperdícios. Quando as atividades são melhor sincronizadas, reduz-se a probabilidade de sobreposição inadequada entre equipes, paralisações, retrabalhos e movimentações desnecessárias de materiais.

Por essa razão, a literatura frequentemente associa a LOB à ideia de continuidade produtiva e à busca por processos mais estáveis, o que aproxima sua aplicação dos princípios defendidos pela Lean Construction. Francelino *et al.* (2006), ao analisarem construtoras que passaram a adotar conceitos lean, identificaram que a LOB oferece uma visão global do empreendimento e favorece o controle das inovações incorporadas ao processo executivo.

Para que a LOB seja corretamente elaborada, é necessário que a obra seja previamente estruturada em unidades gerenciáveis. Nesse processo, a Estrutura Analítica do Projeto (EAP) exerce papel importante, pois permite decompor o escopo em partes menores e mais controláveis. Mattos (2019) explica que a EAP organiza o projeto em níveis de detalhamento, facilitando a associação entre atividades e unidades repetitivas.

Essa etapa é indispensável, pois a LOB depende de uma definição clara das atividades que serão representadas, bem como da identificação das unidades de repetição às quais essas atividades se vinculam. Portanto, a boa aplicação da técnica está diretamente relacionada à qualidade da estruturação inicial do planejamento. A Figura 7 ilustra um exemplo de Estrutura Analítica de Projeto, evidenciando a decomposição do escopo em partes menores e sua importância para a organização do planejamento.

Figura 7 - Estrutura Analítica de Projeto (EAP).



Fonte: Mattos (2019).

A partir dessa estruturação, torna-se mais viável associar atividades às unidades repetitivas da obra, o que favorece a elaboração da LOB. Outro aspecto central da técnica refere-se à determinação das durações e da produtividade das atividades. A produtividade, nesse caso, é elemento decisivo, pois influencia diretamente a inclinação das linhas no gráfico.

Quando o ritmo de execução é bem estimado, torna-se possível planejar o avanço das frentes de trabalho de maneira mais estável, previsível e compatível com os prazos do empreendimento. Com base nisso, a LOB não se limita a uma representação visual, mas depende de informações técnicas consistentes para cumprir seu papel de apoio ao planejamento.

A inclinação das linhas constitui, portanto, um dos elementos mais importantes da técnica, pois expressa a velocidade com que determinada atividade avança ao longo das unidades construtivas. Linhas com inclinações diferentes revelam ritmos distintos de execução, e a análise dessas inclinações permite antecipar interferências entre equipes, períodos de espera ou sobreposições inadequadas. Gomes, De Oliveira e Heineck (2021) observam que, quando adequadamente aplicada, a LOB contribui para reduzir variabilidades, melhorar a continuidade do trabalho e potencializar o aprendizado das equipes.

Essa melhoria no controle do ritmo favorece não apenas a produtividade, mas também o uso mais eficiente dos recursos, reduzindo perdas associadas à má coordenação e ao retrabalho. Para ilustrar de forma simplificada essa lógica de ritmo e sequência, a Figura 8 apresenta uma exemplificação em Excel do avanço das atividades em unidades repetitivas.

Figura 8 - Exemplificação em Excel do ritmo das atividades.

PAVIMENTOS x TEMPO	JANEIRO S1	JANEIRO S2	JANEIRO S3	JANEIRO S4	FEVEREIRO S1	FEVEREIRO S2	FEVEREIRO S3	FEVEREIRO S4
5ª PAVIMENTO					TAREFA A	TAREFA B	TAREFA B	TAREFA C
4ª PAVIMENTO				TAREFA A	TAREFA B	TAREFA B	TAREFA C	
3ª PAVIMENTO			TAREFA A	TAREFA B	TAREFA B	TAREFA C		
2ª PAVIMENTO		TAREFA A	TAREFA B	TAREFA B	TAREFA C			
1ª PAVIMENTO	TAREFA A	TAREFA B	TAREFA B	TAREFA C				

Fonte: Elaboração própria (2025).

Essa visualização evidencia como a distribuição sequencial das tarefas favorece a continuidade da produção e o acompanhamento do ritmo de execução. A LOB apresenta ainda vantagens importantes relacionadas à otimização do uso dos recursos e à coordenação das frentes de trabalho. Ao organizar visualmente a sequência das atividades,

a técnica facilita a distribuição de mão de obra, equipamentos e materiais, contribuindo para o cumprimento de prazos e o controle de custos.

Também permite identificar gargalos e ajustar o ritmo de execução de modo a evitar interrupções ou ociosidades excessivas. Em empreendimentos de grande porte ou com elevada repetitividade, essas vantagens tornam-se ainda mais relevantes, pois pequenas descontinuidades no fluxo podem gerar impactos significativos sobre a produtividade e sobre o desempenho global da obra.

A melhoria do fluxo de trabalho proporcionada pela LOB também possui relação direta com a redução de desperdícios. Quando as atividades são melhor sincronizadas, reduz-se a probabilidade de sobreposição inadequada entre equipes, paralisações, retrabalhos e movimentações desnecessárias de materiais. Por essa razão, a literatura frequentemente associa a LOB à ideia de continuidade produtiva e à busca por processos mais estáveis, o que aproxima sua aplicação dos princípios defendidos pela Lean Construction.

Outro ponto importante é que a LOB não precisa ser limitada ao planejamento de longo prazo. Heineck e Moura (2014) observam que a ferramenta pode ser articulada também às visões de médio e curto prazo, desde que associada à análise de restrições, set-ups e detalhamentos operacionais. Essa flexibilidade amplia seu potencial de uso no controle da obra, pois permite conectar o planejamento mais estratégico às necessidades imediatas da produção. Assim, a LOB pode funcionar como instrumento de comunicação, coordenação e controle, contribuindo para alinhar decisões gerenciais e execução prática no canteiro.

Em termos de aplicabilidade, a LOB tende a apresentar melhores resultados em obras com repetição significativa de unidades ou etapas, nas quais seja possível estabelecer ritmos constantes de execução. Edifícios com pavimentos-tipo, conjuntos habitacionais com unidades padronizadas e obras lineares são exemplos recorrentes dessa condição. Nessas situações, a repetitividade favorece a padronização dos processos, a curva de aprendizado das equipes e o aperfeiçoamento contínuo do fluxo produtivo.

Por outro lado, em empreendimentos com alto grau de singularidade, a aplicação da técnica pode exigir adaptações maiores, embora seus princípios de visualização do fluxo e controle do ritmo continuem relevantes. Desse modo, a LOB pode ser compreendida como uma técnica de planejamento e controle que reúne simplicidade visual, potencial analítico e aplicabilidade prática em obras com repetição de serviços.

Portanto, o estudo dos princípios da LOB é fundamental para compreender seu potencial como ferramenta de apoio ao planejamento de obras. Mais do que um recurso gráfico, essa técnica representa uma forma de organizar a produção a partir do controle do ritmo das equipes e da estabilidade do fluxo de trabalho.

4.5. A relação entre a Linha de Balanço e a gestão de resíduos na construção civil

A relação entre planejamento da produção e gestão de resíduos na construção civil tem se tornado cada vez mais relevante à medida que se reconhece que a geração de perdas não decorre apenas do descarte final dos materiais, mas também da forma como o processo executivo é organizado. Sob essa perspectiva, a gestão de resíduos deixa de ser compreendida apenas como atividade corretiva, voltada à coleta e destinação dos materiais já descartados, e passa a ser vista também sob uma perspectiva preventiva, vinculada ao planejamento, ao controle e à racionalização da produção.

Gonçalves e Haubrick (2020) destacam que a forma como os resíduos são gerenciados durante a execução influencia diretamente o desempenho produtivo e os impactos ambientais do canteiro, evidenciando a necessidade de integração entre organização da obra e sustentabilidade. Quando o processo construtivo é marcado por falhas de planejamento, descontinuidade das frentes de trabalho, incompatibilidades entre atividades e ausência de controle sobre os ritmos de execução, tornam-se mais frequentes situações como retrabalho, movimentação desnecessária de materiais, estocagem inadequada e perdas por deterioração.

Hasan *et al.* (2024) reforçam que falhas de planejamento, problemas de comunicação e desarticulação entre os setores envolvidos figuram entre os principais fatores que intensificam perdas e dificultam o gerenciamento eficiente dos resíduos. Desse modo, a gestão de resíduos não pode ser analisada isoladamente, pois está profundamente associada à maneira como a obra é planejada e conduzida. Nessa lógica, a LOB mostra-se particularmente relevante por sua capacidade de organizar de forma mais clara e estável o fluxo das atividades.

A LOB favorece a identificação prévia de interferências entre frentes de trabalho, períodos de ociosidade, sobreposições indevidas e possíveis gargalos na produção. Gomes, De Oliveira e Heineck (2021) observam que, quando adequadamente aplicada, a técnica contribui para reduzir variabilidades e melhorar a continuidade do trabalho, o que se relaciona diretamente à redução de desperdícios e à organização mais eficiente do ambiente construtivo.

A contribuição da LOB para a gestão de resíduos pode ser compreendida, inicialmente, a partir da melhoria do sequenciamento das atividades. Quando o planejamento é estruturado de forma a manter fluxo contínuo entre as frentes de trabalho, reduz-se a probabilidade de interrupções, remobilizações, sobrecargas operacionais e uso inadequado dos materiais. Com isso, ao contribuir para uma produção mais previsível e coordenada, a LOB atua preventivamente sobre fatores que intensificam a geração de resíduos, ampliando seu papel para além do controle de prazo.

Essa aproximação entre LOB e gestão de resíduos torna-se ainda mais consistente quando analisada à luz da Lean Construction. Como visto, a filosofia enxuta defende a eliminação de atividades que não agregam valor, a redução de desperdícios, a melhoria do fluxo produtivo e a busca por maior estabilidade da produção. Duarte *et al.* (2013) destacam que a aproximação entre técnicas de planejamento e princípios lean favorece a organização das atividades e a redução das perdas nos processos construtivos.

A previsibilidade proporcionada pela LOB também exerce papel importante sobre a gestão de suprimentos e, conseqüentemente, sobre a geração de resíduos. Quando as atividades são planejadas com maior precisão, torna-se possível compatibilizar a entrada de materiais com o momento real de sua utilização, reduzindo estoques excessivos, perdas por deterioração, mau acondicionamento e transporte desnecessário dentro do canteiro.

Xing *et al.* (2021) destacam a importância da disponibilidade de recursos no tempo e na quantidade adequados, enquanto Dave *et al.* (2016) ressaltam o papel do fluxo de orientações e do controle na coordenação produtiva. Nesse sentido, a organização do cronograma por meio da LOB pode contribuir para o uso mais racional dos materiais e para menor geração de sobras e descarte.

Outro aspecto relevante refere-se à relação entre a LOB e a redução do retrabalho, fator diretamente associado ao aumento de resíduos na construção civil. Quando as equipes não possuem clareza sobre a sequência de execução, quando há sobreposição inadequada de serviços ou quando o cronograma sofre constantes interrupções, aumenta a probabilidade de erros e perda de materiais já aplicados.

A LOB, ao oferecer uma visualização mais clara das frentes de trabalho e de seus ritmos, contribui para evitar esse tipo de desorganização. Com isso, favorece maior estabilidade na produção e reduz situações que implicam desperdício de materiais, mão de obra e tempo. A técnica também pode contribuir para a organização física do canteiro e para o gerenciamento operacional dos resíduos.

Keeler e Burke (2010) destacam que a boa gestão de resíduos depende de práticas como coleta seletiva, sinalização, armazenamento adequado e controle da destinação. Tais medidas se tornam mais eficientes quando inseridas em ambiente produtivo bem planejado, em que a logística do canteiro acompanha a dinâmica real da execução da obra. Em empreendimentos com repetição significativa de serviços, como edifícios de múltiplos pavimentos e conjuntos habitacionais, o potencial da LOB tende a ser ainda mais expressivo.

Pélicas (2023) reforça que a técnica apresenta melhor desempenho em sistemas seriados, nos quais a repetição permite maior controle do ritmo de execução e mais oportunidades de aperfeiçoamento contínuo. Nesses casos, a padronização favorece a curva de aprendizado das equipes e a estabilização dos procedimentos, o que impacta positivamente o uso dos materiais e a redução de perdas. Portanto, a repetitividade da obra não apenas facilita a aplicação da LOB, mas também amplia suas contribuições para a organização da produção e para a melhoria da gestão de resíduos.

A contribuição da LOB para a sustentabilidade no canteiro pode ser entendida, portanto, como resultado da articulação entre planejamento, continuidade produtiva e uso racional dos recursos. Lucko *et al.* (2014) observam que ferramentas de planejamento podem favorecer abordagens mais alinhadas à sustentabilidade ao permitir maior controle das etapas que impactam o consumo de materiais e a produção de resíduos.

Sob essa ótica, a sustentabilidade deixa de estar associada apenas ao reaproveitamento e à destinação final dos resíduos e passa a incluir, também, a prevenção de perdas desde a origem. Isso é coerente com a lógica da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece a não geração e a redução como prioridades no gerenciamento dos resíduos (Brasil, 2010).

No plano teórico, essa discussão reforça que a LOB não deve ser compreendida apenas como instrumento gráfico de planejamento, mas como recurso que pode apoiar práticas mais eficientes e ambientalmente responsáveis na construção civil. Formoso (2015) define o planejamento como processo gerencial voltado ao estabelecimento de objetivos e à determinação dos procedimentos necessários para alcançá-los, ressaltando que sua efetividade depende da articulação com o controle.

Mattos (2019), por sua vez, afirma que o profissional que planeja adquire visão mais ampla do empreendimento, o que contribui para maior eficiência na condução da obra. Quando essas reflexões são trazidas para o tema da gestão de resíduos, torna-se

possível compreender que o planejamento mais bem estruturado pode atuar diretamente na prevenção de perdas e no fortalecimento da sustentabilidade.

A aproximação entre LOB, Lean Construction e gestão de resíduos evidencia, portanto, uma convergência importante entre planejamento da produção e responsabilidade ambiental. Ao reduzir variabilidades, favorecer a continuidade do fluxo, organizar melhor as frentes de trabalho e contribuir para o uso mais racional dos recursos, a LOB cria condições favoráveis para menor geração de resíduos e maior eficiência no gerenciamento dos materiais descartados.

Assim, a ferramenta se mostra compatível com uma abordagem sustentável da construção civil, especialmente em obras com repetição de serviços, nas quais o controle do ritmo e da sequência das atividades exerce papel decisivo sobre o desempenho produtivo e ambiental. Desse modo, a análise da relação entre LOB e gestão de resíduos permite compreender que a sustentabilidade no canteiro não depende apenas de medidas corretivas voltadas ao tratamento dos resíduos já gerados, mas também de estratégias preventivas incorporadas ao planejamento e ao controle da produção.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme discutido na introdução e ao longo da fundamentação teórica, a construção civil apresenta significativa relevância no desenvolvimento econômico e urbano, mas também se destaca como uma das atividades que mais geram impactos ambientais. A análise dos estudos selecionados evidencia que, em modelos tradicionais de planejamento, caracterizados por baixa integração entre equipes, ausência de controle do fluxo produtivo e elevada variabilidade das atividades, observa-se maior ocorrência de retrabalhos, desperdícios de materiais e geração de resíduos.

Em contrapartida, a adoção de ferramentas como a Linha de Balanço (LOB), associada aos princípios da Lean Construction, promove maior organização do fluxo produtivo, redução de interrupções e melhoria da coordenação entre equipes, resultando em maior eficiência operacional e menor geração de resíduos no canteiro de obras. Esse contraste evidencia que a eficiência na gestão de resíduos está diretamente relacionada à qualidade do planejamento adotado.

Diante disso, os resultados indicam que falhas no planejamento da produção, descontinuidade das atividades, inadequada coordenação entre equipes e ausência de controle do fluxo produtivo estão diretamente associadas ao aumento da geração de resíduos no canteiro de obras. Em oposição, a aplicação da LOB atua de forma preventiva sobre esses fatores, contribuindo para a redução de perdas e para a melhoria do desempenho produtivo.

Essa constatação reforça a perspectiva apresentada por Gonçalves e Haubrick (2020), ao destacarem que o gerenciamento de resíduos deve ser compreendido como parte integrante do processo produtivo, e não apenas como uma etapa corretiva. Além disso, conforme discutido no referencial, o elevado volume de resíduos da construção civil no Brasil evidencia a necessidade de estratégias mais eficientes e preventivas.

Nesse sentido, os resultados demonstram que a LOB, enquanto ferramenta de planejamento e controle, apresenta elevada capacidade de atuar na origem das perdas, contribuindo para a organização das atividades e para a melhoria do desempenho produtivo. Verifica-se, ainda, que a geração de resíduos está fortemente associada à variabilidade do processo construtivo, de modo que quanto maior a desorganização das atividades, maior a probabilidade de ocorrência de retrabalhos, perdas de materiais e desperdícios operacionais.

Assim, evidencia-se que a sustentabilidade na construção civil deve ser compreendida não apenas como resultado de práticas de destinação adequada, mas,

sobretudo, como consequência direta de um planejamento eficiente, no qual ferramentas como a LOB desempenham papel estratégico.

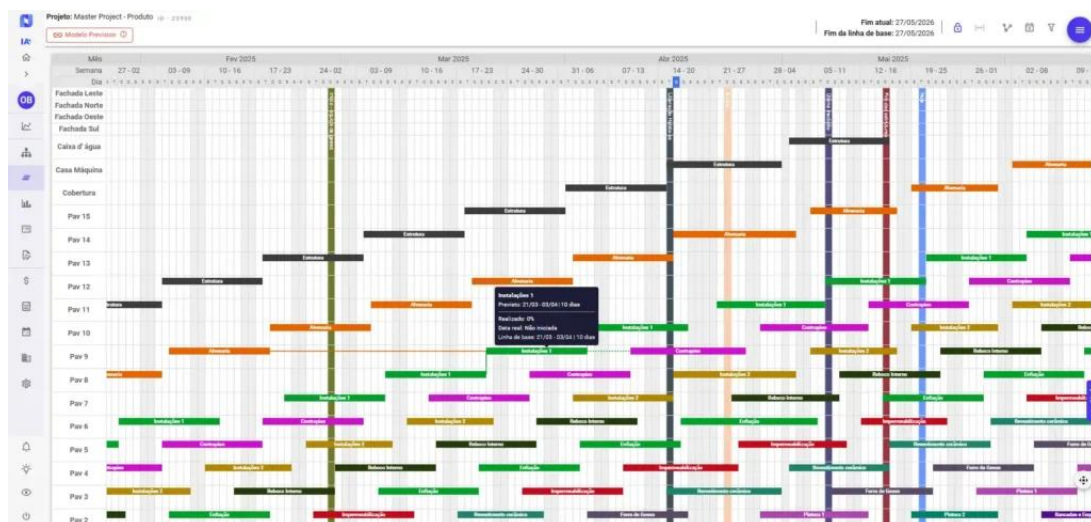
5.1. Planejamento da produção e aplicação da Linha de Balanço

Os resultados evidenciam que a Linha de Balanço se consolida como uma ferramenta altamente eficaz para o planejamento e controle de obras, especialmente em contextos caracterizados pela repetitividade, apresentando desempenho superior em relação aos métodos tradicionais de planejamento.

Conforme Mattos (2019), sua principal contribuição está na capacidade de representar simultaneamente tempo e espaço, permitindo visualizar o avanço das equipes e o ritmo de execução das atividades ao longo das unidades construtivas. A representação gráfica proporcionada pela LOB permite visualizar de forma clara o avanço das atividades ao longo do tempo e do espaço, facilitando a compreensão do fluxo produtivo e a coordenação entre equipes.

Além das linhas que representam o progresso das atividades, o planejamento também pode ser interpretado como um conjunto de blocos, nos quais a espessura está associada à duração das tarefas, permitindo uma leitura mais intuitiva do cronograma. A Figura 9 ilustra a aplicação da LOB em um ambiente real de planejamento, evidenciando a disposição das atividades ao longo do tempo e a interação entre diferentes frentes de trabalho.

Figura 9 - Exemplo de planejamento em Linha de Balanço (software Prevision).



Fonte: Prevision (2026)

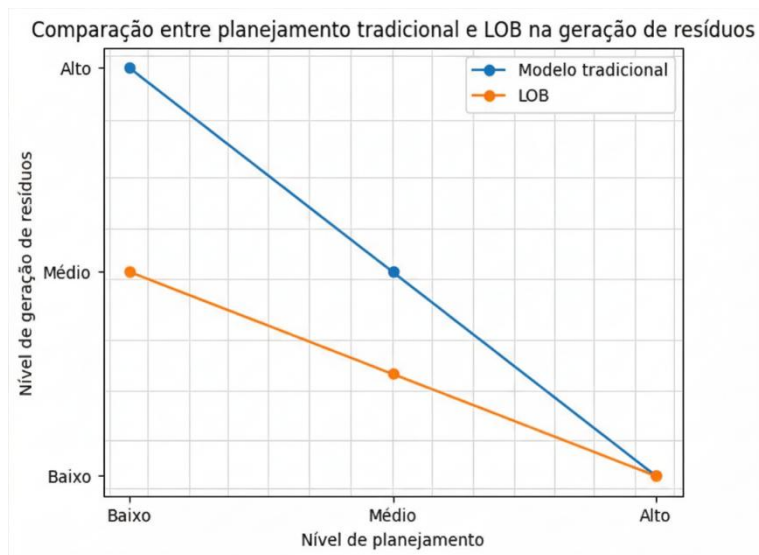
A visualização apresentada na Figura 9 evidencia uma das principais vantagens da LOB em relação aos métodos tradicionais, ao permitir a análise integrada do tempo e

do espaço no planejamento da obra. Essa representação facilita a identificação de interferências entre atividades, reduz conflitos entre equipes e contribui para a diminuição de períodos de ociosidade, fatores que, nos modelos convencionais, frequentemente resultam em retrabalho e desperdício de materiais.

Assim, constata-se que a LOB apresenta maior capacidade de organização do fluxo produtivo, contribuindo diretamente para o aumento da eficiência e a redução de perdas no processo construtivo. Além disso, a análise dos estudos indica que sua utilização contribui para maior previsibilidade do processo construtivo, uma vez que permite acompanhar o ritmo de execução e antecipar possíveis desvios. Essa previsibilidade reduz incertezas e favorece a tomada de decisão ao longo da execução, tornando o planejamento mais dinâmico e adaptável às condições reais da obra.

A relação entre o nível de planejamento e a geração de resíduos pode ser analisada de forma comparativa entre modelos tradicionais e a aplicação da LOB. O Gráfico 1 apresenta essa relação, evidenciando o comportamento da geração de resíduos em diferentes níveis de organização do processo produtivo.

Gráfico 1 - Relação entre qualidade do planejamento e geração de resíduos.



Fonte: Elaboração própria (2026).

O Gráfico 1 evidencia que, no modelo tradicional, a geração de resíduos tende a permanecer em níveis mais elevados, mesmo com melhorias no planejamento, em função da descontinuidade das atividades e da falta de integração entre equipes. Em contrapartida, a aplicação da LOB apresenta redução mais significativa dos resíduos, decorrente da maior organização do fluxo produtivo, da sincronização das atividades e da diminuição de falhas operacionais. Esse resultado evidencia que a ferramenta apresenta

desempenho superior na condução do processo construtivo, atuando diretamente na prevenção de desperdícios.

No entanto, a análise também evidencia que a eficácia da LOB está condicionada à qualidade das informações utilizadas no planejamento. A dependência de dados confiáveis de produtividade representa um ponto crítico, uma vez que estimativas imprecisas podem comprometer a estabilidade do fluxo produtivo e reduzir os benefícios esperados da ferramenta. Assim, a LOB não deve ser compreendida como solução isolada, mas como parte de um processo de planejamento que exige consistência técnica e atualização contínua das informações.

Outro aspecto relevante observado nos estudos refere-se à capacidade da LOB de favorecer o aprendizado das equipes ao longo da execução. Em obras com repetitividade, a padronização das atividades permite ajustes progressivos no desempenho, contribuindo para maior previsibilidade, aumento da produtividade e redução de falhas operacionais. Desse modo, a ferramenta não apenas organiza o planejamento, mas também atua como suporte à melhoria contínua do processo produtivo. As principais diferenças entre o planejamento tradicional e a aplicação da LOB podem ser sintetizadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Síntese das contribuições da LOB no planejamento da produção.

Dimensão	Situação sem LOB	Situação com LOB	Impacto no processo produtivo	Impacto na geração de resíduos
Planejamento	Fragmentado e reativo	Estruturado e contínuo	Melhor organização das etapas e maior controle das atividades	Redução de erros e retrabalhos
Fluxo produtivo	Irregular e com interrupções	Contínuo e balanceado	Diminuição de paradas e esperas entre equipes	Menor perda de materiais durante execução
Controle	Limitado e pouco visual	Visual, contínuo e integrado	Maior previsibilidade e rapidez na tomada de decisão	Prevenção de falhas que geram desperdícios
Execução	Descoordenada entre equipes	Sincronizada e padronizada	Melhor alinhamento das frentes de trabalho	Redução de retrabalho e resíduos gerados

Fonte: Elaboração própria (2026).

A comparação apresentada no Quadro 5 evidencia de forma clara as diferenças entre o modelo tradicional de planejamento e a aplicação da LOB. Observa-se que, enquanto o planejamento convencional tende a ser fragmentado e pouco integrado, a ferramenta promove uma estruturação mais organizada das atividades, favorecendo a continuidade do fluxo produtivo.

Essa diferença impacta diretamente na execução da obra, reduzindo interrupções, retrabalhos e falhas operacionais, elementos que estão diretamente associados ao aumento

do desperdício de materiais. Assim, a utilização da LOB demonstra desempenho superior tanto do ponto de vista produtivo quanto sob a ótica da sustentabilidade, reforçando sua relevância em relação aos modelos tradicionais de planejamento.

Nessa perspectiva, a LOB contribui não apenas para a eficiência operacional, mas também para a redução de falhas que impactam o consumo de materiais, reforçando sua relevância no contexto da construção civil contemporânea. Com isso, sua aplicação se mostra alinhada aos objetivos deste estudo, ao contribuir para a melhoria do desempenho produtivo e para a adoção de práticas mais sustentáveis no setor.

Quando comparada aos métodos tradicionais de planejamento, a LOB demonstra maior capacidade de organização, controle e previsibilidade do processo construtivo, consolidando-se como uma solução mais eficiente e estratégica para o planejamento da produção, com impacto direto na redução de falhas operacionais, desperdícios e geração de resíduos.

Os resultados indicam que a LOB se consolida como uma ferramenta mais eficiente em relação aos métodos tradicionais de planejamento, contribuindo significativamente para a melhoria do desempenho produtivo e para a redução da geração de resíduos na construção civil.

5.2. Linha de Balanço, Lean Construction e redução de desperdícios

Os resultados evidenciam uma forte convergência entre a aplicação da LOB e os princípios da Lean Construction, com destaque para a melhoria do fluxo produtivo e a redução de desperdícios. Conforme Koskela (1992), a construção enxuta propõe a eliminação de atividades que não agregam valor, destacando a importância da continuidade do fluxo e da redução de variabilidades no processo produtivo.

Nesse sentido, enquanto modelos tradicionais tendem a tratar o planejamento de forma isolada e reativa, a integração entre LOB e Lean Construction permite uma abordagem mais sistêmica e preventiva, atuando diretamente nas causas dos desperdícios e apresentando desempenho superior na organização do processo produtivo.

Sob essa perspectiva, a LOB contribui diretamente para a organização do sequenciamento das atividades, promovendo maior sincronização entre as equipes e reduzindo interferências no processo construtivo. Essa organização favorece a continuidade das operações e diminui a ocorrência de interrupções, que estão frequentemente associadas a perdas de materiais e retrabalho.

Além disso, os resultados evidenciam que a descontinuidade das atividades constitui um dos principais fatores responsáveis pelo aumento de desperdícios no canteiro de obras. Quando há falhas na coordenação entre equipes ou no planejamento das etapas construtivas, torna-se mais comum a ocorrência de retrabalho, movimentação desnecessária de materiais e uso ineficiente dos recursos.

Desse modo, verifica-se que a melhoria do planejamento exerce papel fundamental na prevenção dessas perdas. As principais relações entre falhas operacionais, desperdícios e a atuação da LOB podem ser sintetizadas no Quadro 6, evidenciando sua contribuição em relação aos modelos tradicionais de planejamento.

Quadro 6 - Relação entre falhas operacionais e desperdícios.

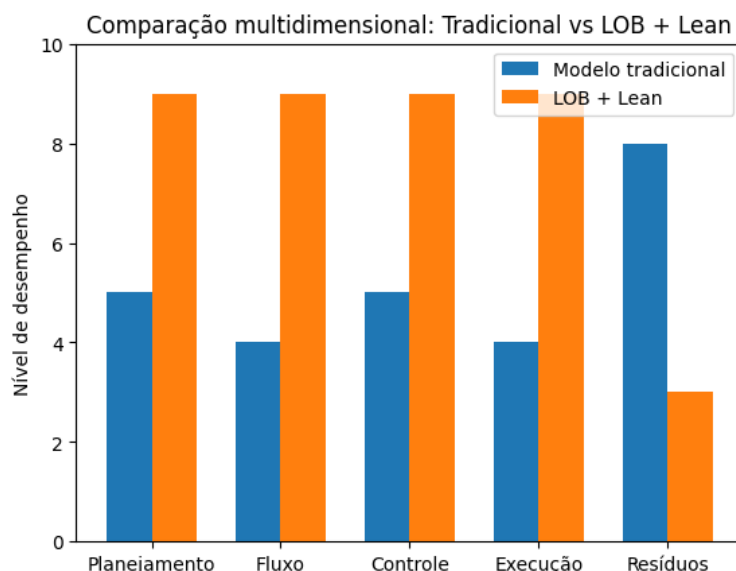
Falha no processo	Consequência direta	Tipo de desperdício	Atuação da LOB
Interrupção de atividades	Retrabalho	Perda de material aplicado	Organização do fluxo e continuidade das atividades
Falta de sincronização	Espera entre equipes	Ociosidade	Coordenação e alinhamento das frentes de trabalho
Planejamento inadequado	Excesso de materiais	Deterioração	Planejamento estruturado e controle das etapas
Execução desorganizada	Erros construtivos	Resíduos sólidos	Padronização e previsibilidade da execução

Fonte: Elaboração própria (2026).

O Quadro 6 evidencia que os desperdícios na construção civil estão diretamente associados a falhas no processo produtivo, especialmente aquelas relacionadas à desorganização das atividades e à ausência de controle do fluxo. Observa-se que, em todos os casos analisados, a aplicação da LOB atua de forma preventiva, reduzindo a ocorrência dessas falhas ao promover maior sincronização entre equipes, organização das etapas e previsibilidade da execução. Dessa maneira, a LOB demonstra elevada capacidade de mitigar desperdícios, atuando diretamente nas causas que originam as perdas no canteiro de obras.

A comparação entre o modelo tradicional de planejamento e a abordagem que integra a LOB aos princípios da Lean Construction pode ser analisada a partir de diferentes dimensões do processo produtivo. O Gráfico 2 apresenta essa comparação, evidenciando as diferenças de desempenho entre as duas abordagens.

Gráfico 2 - Comparação multidimensional do desempenho produtivo: modelo tradicional vs LOB + Lean.



Fonte: Elaboração própria (2026).

O Gráfico 2 evidencia que o modelo tradicional apresenta desempenho inferior na maioria das dimensões analisadas, especialmente no que se refere ao fluxo produtivo, controle das atividades e execução das etapas construtivas, fatores diretamente relacionados à ocorrência de desperdícios. Em contrapartida, a aplicação da LOB associada à Lean Construction demonstra desempenho superior, caracterizado pela maior organização do planejamento, continuidade do fluxo produtivo e redução de falhas operacionais. Observa-se ainda que a diminuição da geração de resíduos está diretamente associada à melhoria desses aspectos, reforçando a eficácia da abordagem integrada.

A análise do gráfico evidencia que a adoção conjunta da LOB e dos princípios da Lean Construction tende a proporcionar ganhos significativos em termos de eficiência produtiva, quando comparada aos modelos tradicionais de planejamento. Esse desempenho está associado à maior organização do fluxo de atividades, à redução de variabilidades e à melhoria na coordenação entre equipes, fatores que contribuem diretamente para a diminuição de desperdícios.

Por fim, os resultados evidenciam que a integração entre a LOB e os princípios da Lean Construction não apenas melhora o desempenho produtivo das obras, mas também atua de forma estratégica na redução de desperdícios, ao atacar diretamente as causas das perdas no processo construtivo. Assim, observa-se que o planejamento estruturado, associado a práticas enxutas, representa uma abordagem mais eficiente em relação aos

modelos tradicionais, contribuindo significativamente para a sustentabilidade e a racionalização do uso de recursos na construção civil.

Os resultados, portanto, confirmam a hipótese deste estudo, evidenciando que a aplicação da LOB associada aos princípios da Lean Construction se consolida como uma abordagem mais eficiente para a redução de desperdícios na construção civil.

5.3. Gestão de resíduos, sustentabilidade e implicações práticas

Os resultados evidenciam que a contribuição da LOB para a gestão de resíduos na construção civil ocorre principalmente de forma indireta, por meio da melhoria do planejamento e da organização do processo produtivo. Diferentemente dos modelos tradicionais, nos quais a gestão de resíduos tende a ocorrer de forma corretiva, a aplicação dessa ferramenta permite atuar preventivamente, reduzindo falhas operacionais, retrabalhos e desconinuidades. Assim, observa-se que a eficiência na gestão de resíduos está diretamente relacionada à qualidade do planejamento adotado.

Essa constatação reforça a perspectiva apresentada no referencial teórico, segundo a qual a gestão de resíduos deve ser tratada de forma preventiva, articulada às etapas iniciais do planejamento da obra. Nesse sentido, instrumentos como o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) assumem papel fundamental na estruturação do gerenciamento, permitindo a estimativa, classificação e destinação adequada dos materiais, em conformidade com a legislação vigente.

Além disso, a análise evidencia que práticas como a segregação adequada dos resíduos, a reutilização de materiais e a adoção de sistemas de identificação contribuem significativamente para a eficiência do gerenciamento no canteiro. A utilização de códigos de cores, por exemplo, facilita a organização dos resíduos, reduz a mistura de materiais e amplia o potencial de reaproveitamento, tornando o processo mais eficiente e sustentável. A Figura 10 ilustra o sistema de identificação por cores utilizado na segregação de resíduos, conforme orientações normativas, evidenciando uma prática consolidada no gerenciamento de resíduos no setor da construção civil.

Figura 10 - Código de cores para resíduos da construção civil.



Fonte: Adaptado da Resolução CONAMA nº 275/2001.

A utilização desse sistema contribui para a padronização dos processos de separação, reduzindo erros operacionais e evitando a contaminação entre diferentes tipos de resíduos. Em comparação a canteiros que não adotam essa prática, observa-se maior eficiência na segregação, maior potencial de reaproveitamento e redução significativa de perdas, reforçando a importância da organização visual no gerenciamento de resíduos.

Outro aspecto relevante refere-se ao fato de que a sustentabilidade na construção civil deve ser compreendida como resultado da integração entre planejamento eficiente, controle da produção e práticas adequadas de gerenciamento de resíduos. Nessa perspectiva, observa-se que a redução de desperdícios não depende apenas de ações corretivas, mas, principalmente, de estratégias preventivas incorporadas ao planejamento desde as etapas iniciais da obra. A integração entre planejamento, controle da produção e práticas de gestão de resíduos pode ser sintetizada no Quadro 7.

Quadro 7 - Integração entre planejamento, LOB e gestão de resíduos.

Elemento	Função no processo	Impacto produtivo	Impacto na gestão de resíduos
Planejamento	Organização das atividades	Redução de falhas e retrabalhos	Menor geração de resíduos
LOB	Controle e continuidade do fluxo produtivo	Maior previsibilidade e sincronização	Redução de desperdícios
PGRCC	Estruturação do gerenciamento de resíduos	Melhor controle das etapas	Destinação adequada
Segregação	Separação e identificação dos materiais	Organização do canteiro	Aumento do reaproveitamento

Fonte: Elaboração própria (2026).

O Quadro 7 evidencia que a gestão eficiente de resíduos depende da articulação entre diferentes componentes do processo construtivo, destacando o planejamento como elemento central. Observa-se que, em modelos tradicionais, essas etapas tendem a ocorrer de forma fragmentada, o que compromete a eficiência do gerenciamento. Em contrapartida, a aplicação da LOB promove maior integração entre essas dimensões, contribuindo para a redução de desperdícios e para a melhoria da organização do canteiro, reforçando sua relevância no contexto da sustentabilidade.

Além disso, os resultados indicam que a aplicação da LOB tende a apresentar melhores resultados em obras com elevado grau de repetitividade, nas quais é possível estabelecer ritmos constantes de execução. Nesses contextos, a padronização das atividades favorece o controle do fluxo produtivo e amplia as possibilidades de redução de perdas.

Em contrapartida, em obras com maior complexidade e variabilidade, sua aplicação pode demandar adaptações operacionais, especialmente no que se refere à definição de ritmos de produção e à organização das equipes. Ainda assim, seus princípios permanecem relevantes, contribuindo para a melhoria da organização do processo produtivo.

Por fim, os resultados evidenciam que a melhoria da gestão de resíduos na construção civil não depende exclusivamente de práticas isoladas, mas da integração entre planejamento, controle da produção e estratégias sustentáveis. Nesse cenário, a LOB se consolida como uma ferramenta estratégica, ao atuar na origem das perdas e contribuir diretamente para a redução de desperdícios. Desse modo, confirma-se que sua aplicação, especialmente quando associada a práticas de gestão e sustentabilidade, representa uma

abordagem mais eficiente em relação aos modelos tradicionais, atendendo ao objetivo deste estudo e reforçando sua relevância no setor da construção civil. Os resultados, portanto, reforçam a importância da adoção de ferramentas de planejamento associadas a práticas sustentáveis como estratégia fundamental para a melhoria da gestão de resíduos na construção civil.

6. PROPOSTA DE MELHORIAS TÉCNICAS

A partir dos resultados obtidos neste estudo, identificou-se que a principal causa da geração de resíduos na construção civil está associada a falhas no planejamento da produção, à descontinuidade das atividades e à inadequada coordenação entre as equipes. Assim, as propostas apresentadas têm como objetivo atuar diretamente nesses fatores, contribuindo para a melhoria da gestão de resíduos por meio da organização do processo produtivo, com base na aplicação da Linha de Balanço (LOB) e nos princípios da Lean Construction.

A primeira proposta consiste na adoção da LOB como ferramenta base no planejamento da produção, especialmente em obras com elevado grau de repetitividade. A utilização dessa ferramenta permite uma visualização mais clara do avanço das atividades ao longo do tempo e do espaço, facilitando a identificação de interferências entre equipes e possibilitando ajustes no planejamento antes da execução. Com isso, espera-se que sua aplicação contribua para a redução de retrabalhos, interrupções e desperdícios de materiais.

A integração entre a LOB e as práticas da Lean Construction permite a melhoria contínua do fluxo produtivo e a eliminação de atividades que não agregam valor. Essa integração pode ser realizada por meio da análise sistemática das etapas construtivas, identificando pontos de desperdício e propondo ajustes no sequenciamento das atividades. Dessa maneira, busca-se promover maior estabilidade no processo produtivo e reduzir variabilidades que impactam diretamente na geração de resíduos. Essa abordagem possibilita a antecipação de conflitos operacionais, reduzindo a ocorrência de retrabalhos e contribuindo diretamente para a minimização de perdas no processo construtivo.

Outra proposta relevante refere-se à incorporação do planejamento da gestão de resíduos às etapas iniciais da obra, por meio da integração entre a LOB e o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC). Essa abordagem permite que a estimativa, a segregação e a destinação dos resíduos sejam planejadas de forma antecipada, evitando ações corretivas durante a execução. Desse modo, o gerenciamento de resíduos deixa de ser uma atividade isolada e passa a fazer parte do planejamento produtivo.

Também se propõe a implantação de práticas de segregação e organização dos resíduos no canteiro, utilizando sistemas de identificação visual, como o código de cores. Essa medida contribui para a redução da mistura de materiais, facilita o reaproveitamento

e melhora a eficiência do gerenciamento. Além disso, a organização do canteiro está diretamente relacionada à redução de perdas e ao melhor aproveitamento dos recursos.

Outra melhoria importante consiste na capacitação das equipes envolvidas no processo construtivo, com foco na compreensão da importância do planejamento, da organização do fluxo produtivo e da gestão adequada dos resíduos. A falta de alinhamento entre as equipes foi identificada como um dos fatores que contribuem para desperdícios, sendo fundamental investir em treinamentos e na disseminação de boas práticas no canteiro de obras. A síntese das principais propostas de melhoria e seus impactos pode ser observada no Quadro 8.

Quadro 8 - Síntese das propostas de melhoria e seus impactos na gestão de resíduos.

Proposta de melhoria	Descrição da aplicação	Impacto no processo produtivo	Impacto na gestão de resíduos
Aplicação da LOB no planejamento	Utilização da Linha de Balanço para organizar o sequenciamento e o ritmo das atividades	Maior previsibilidade, redução de conflitos entre equipes	Redução de retrabalhos e menor geração de resíduos
Integração LOB + Lean Construction	Aplicação de princípios enxutos para eliminação de atividades que não agregam valor	Melhoria do fluxo produtivo e redução de variabilidade	Diminuição de desperdícios operacionais
Integração LOB + PGRCC	Incorporação do gerenciamento de resíduos ao planejamento da produção	Planejamento antecipado das etapas e melhor controle das atividades	Destinação adequada e redução de perdas
Segregação e organização no canteiro	Uso de identificação visual (código de cores) e separação adequada dos materiais	Melhor organização do ambiente de trabalho	Aumento do reaproveitamento e redução da contaminação de resíduos
Capacitação das equipes	Treinamento sobre planejamento, fluxo produtivo e gestão de resíduos	Maior alinhamento entre equipes e redução de falhas	Diminuição de erros operacionais e desperdícios
Uso de tecnologias digitais (ex: Prevision)	Aplicação de softwares para planejamento, controle e monitoramento da obra	Atualização em tempo real e melhor tomada de decisão	Redução de incertezas e falhas que geram resíduos

Fonte: Elaboração própria (2026).

A Figura 11 apresenta o fluxo integrado de gestão, evidenciando que a eficiência no gerenciamento de resíduos depende da articulação entre diagnóstico, planejamento, controle e execução. Observa-se que a integração entre a LOB, os princípios da Lean Construction e o PGRCC permite estruturar um processo contínuo de melhoria, no qual o monitoramento possibilita ajustes ao longo da execução, reduzindo falhas e desperdícios.

Figura 11 - Fluxograma de aplicação da Linha de Balanço integrada à gestão de resíduos.



Fonte: Elaboração própria (2026).

Observa-se que o processo inicia com o diagnóstico das condições da obra, seguido do planejamento com a utilização da LOB e sua integração com os princípios da Lean Construction e com o PGRCC. A execução organizada e o monitoramento contínuo permitem ajustes ao longo do processo, contribuindo para a melhoria do desempenho produtivo e para a redução da geração de resíduos.

Por fim, recomenda-se a adoção de ferramentas digitais de planejamento, como softwares que utilizam a metodologia da LOB, a exemplo da plataforma Prevision. O uso dessas tecnologias permite maior precisão no planejamento, atualização em tempo real das informações e melhor acompanhamento da execução, contribuindo para a tomada de decisão e para a redução de falhas operacionais.

De forma geral, as propostas apresentadas evidenciam que a melhoria da gestão de resíduos na construção civil está diretamente associada à qualidade do planejamento e à integração entre diferentes ferramentas de gestão. Nessa perspectiva, a LOB, aliada aos princípios da Lean Construction e ao PGRCC, consolida-se como uma estratégia técnica eficiente, capaz de reduzir desperdícios, melhorar o desempenho produtivo e fortalecer práticas sustentáveis no setor da construção civil. Assim, as propostas apresentadas contribuem não apenas para a melhoria do desempenho produtivo, mas também para o avanço de práticas sustentáveis na construção civil.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo compreender como a aplicação da LOB pode contribuir para a melhoria da eficiência na gestão de resíduos em obras de engenharia civil, especialmente no que se refere à redução de desperdícios e ao fortalecimento de práticas mais sustentáveis. Ao longo do estudo, buscou-se analisar a relação entre planejamento da produção, princípios da Lean Construction e gestão de resíduos, evidenciando como esses elementos se conectam no contexto da construção civil.

A partir da análise desenvolvida, verifica-se que a geração de resíduos no setor não está relacionada apenas à etapa final de descarte, mas, principalmente, à forma como as atividades são planejadas e executadas. Em modelos tradicionais de planejamento, caracterizados por desorganização, descontinuidade das atividades e baixa integração entre equipes, observa-se maior ocorrência de retrabalhos, perdas de materiais e desperdícios.

Em contrapartida, a aplicação da LOB, associada aos princípios da Lean Construction, permite maior organização do fluxo produtivo, aumento da previsibilidade e redução de falhas operacionais, resultando em maior eficiência produtiva e menor geração de resíduos.

Os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que foi possível apresentar os principais conceitos e aplicações da LOB, analisar sua contribuição para a redução de desperdícios, compreender sua relação com a Lean Construction e identificar os contextos em que sua aplicação tende a ser mais eficiente. Ao longo do estudo, ficou evidente que a LOB se destaca como uma ferramenta importante para o planejamento e controle da produção, principalmente em obras com maior repetitividade.

Assim, foi possível responder ao problema de pesquisa, demonstrando que a LOB contribui para a gestão de resíduos de forma indireta, ao atuar na organização do processo construtivo. Ao proporcionar maior controle do fluxo produtivo, reduzir interferências entre equipes e aumentar a previsibilidade das atividades, a ferramenta contribui para a diminuição de falhas operacionais, retrabalhos e desperdícios de materiais.

Os resultados obtidos confirmam que a melhoria do planejamento está diretamente associada à redução de desperdícios na construção civil. Nessa perspectiva, a utilização da LOB apresenta desempenho superior em relação aos modelos tradicionais de planejamento, ao favorecer a organização das frentes de trabalho, a sincronização das

equipes e o acompanhamento do ritmo de execução, impactando positivamente tanto na produtividade quanto na redução de perdas.

Além disso, observa-se uma forte relação entre a LOB e os princípios da Lean Construction, especialmente no que diz respeito à eliminação de atividades que não agregam valor, à redução de variabilidades e à melhoria da continuidade do fluxo produtivo. Essa integração reforça que o planejamento estruturado não contribui apenas para o cumprimento de prazos, mas também para o uso mais eficiente dos recursos e para a redução de desperdícios.

Outro aspecto relevante é que a gestão de resíduos deve ser compreendida de forma preventiva. Práticas como segregação adequada, reutilização de materiais e organização do canteiro tornam-se mais eficientes quando estão associadas a um planejamento bem estruturado. Nesse sentido, o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil se destaca como instrumento essencial, especialmente quando integrado às decisões de planejamento da obra.

Também se observou que a aplicação da LOB tende a apresentar melhores resultados em obras com maior grau de repetitividade, como edificações verticais e conjuntos habitacionais, nos quais a padronização das atividades favorece o controle do fluxo produtivo e a redução de perdas. Em obras mais complexas, sua aplicação pode demandar adaptações, mas seus princípios permanecem relevantes para a organização do processo construtivo.

Diante disso, conclui-se que este estudo contribui para ampliar a compreensão sobre a relação entre planejamento da produção e gestão de resíduos na construção civil, destacando a LOB como uma ferramenta capaz de melhorar o desempenho produtivo e fortalecer práticas sustentáveis. Ao evidenciar o papel do planejamento como estratégia preventiva, o trabalho reforça a importância de integrar aspectos técnicos, organizacionais e ambientais no desenvolvimento das obras.

Como limitação, destaca-se que a pesquisa foi desenvolvida com base em revisão bibliográfica, não contemplando a aplicação prática da ferramenta em estudos de caso. Assim, os resultados apresentados refletem uma análise teórica, ainda que fundamentada em diferentes estudos e autores da área.

Por fim, recomenda-se que pesquisas futuras investiguem a aplicação da LOB em obras reais, analisando seus impactos diretos na redução de resíduos e na melhoria do desempenho produtivo. Além disso, sugere-se explorar a integração da LOB com outras ferramentas de planejamento e controle, ampliando suas possibilidades de aplicação no

contexto da construção civil. Assim, a LOB se consolida como uma ferramenta estratégica para a promoção de eficiência produtiva e sustentabilidade na construção civil.

REFERÊNCIAS

- ABNT, **NBR. 10004**: Resíduos sólidos—classificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas, v. 71, 2024.
- ABNT. **NBR 15112**: resíduos da construção civil e resíduos volumosos - áreas de transbordo e triagem - diretrizes para projeto, implantação e operação. São Paulo: ABNT, 2004a.
- ABNT. **NBR 15113**: resíduos da construção civil e resíduos inertes - aterros - diretrizes para projeto, implantação e operação. São Paulo: ABNT, 2004b.
- ABNT. **NBR 15114**: resíduos da construção civil - áreas de reciclagem - diretrizes para projeto, implantação e operação. São Paulo: ABNT, 2004c.
- ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo: ABRELPE, 2017.
- ABREMA. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>.
- ALENCAR, Livia Braga Sydrião de. **Avaliação do impacto do uso da técnica de linha de balanço no gerenciamento da cadeia de suprimentos em obras de rodovia**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- ALMEIDA, Eduardo Lavocat Galvão de; PICCHI, Flávio Augusto. Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. **Ambiente construído**, v. 18, p. 91-109, 2018.
- ARAUJO, Raquel Salles de. **Estudo de caso do gerenciamento de resíduos da construção civil nas esferas acadêmica e industrial**. 2022. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.
- ARDITI, David; ALBULAK, M. Zeki. Line-of-balance scheduling in pavement construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 3, p. 411-424, 1986.
- ASLAM, Mughees; GAO, Zhili; SMITH, Gary. Exploring factors for implementing lean construction for rapid initial successes in construction. **Journal of cleaner production**, v. 277, p. 123295, 2020.
- BARBOSA, Larissa Duarte Alves. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: REUSO DA ÁGUA. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 7, p. 296-301, 2021.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. 4. ed. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BASSANI, Leonardo Debarba; PIRAN, Fabio Antônio Sartori. Aplicação do princípio Lean Construction e teoria das restrições para reduzir desperdícios em uma cadeia de suprimentos na construção civil. **Revista Produção Online**, v. 22, n. 2, p. 2966-2993, 2022.
- BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é-o que não é**. Editora Vozes Limitada, 2017.

BONESI-DE LUCA, Fabiana Maria *et al.* Método para implementação do trabalho padronizado como elemento adicional do planejamento e controle baseado em localização. **Ambiente Construído**, v. 24, p. e131705, 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 136, p. 95-96, 17 jul. 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011**. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 25 maio 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 448, de 18 de janeiro de 2012**. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 19 jan. 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 469, de 29 de julho de 2015**. Altera a Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 30 jul. 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o relatório de impacto ambiental (RIMA)**. Normas Brasil, 1986. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-1-1986_94898.html.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

CARVALHO, André Brasil *et al.* Study on the factors of delay in construction works. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 27-46, 2021.

CASTRO, Caio Lucas Ferreira; BORGES, Matheus de Rezende. **Aplicação e controle da técnica da linha de balanço no planejamento de obra vertical**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

CAVALCANTE, Gabriel Souza. **Práticas sustentáveis na construção civil: um estudo de caso exploratório sobre a construção do Hospital Regional do Alto Sertão em Delmiro Gouveia – AL**. 2022. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Campus Sertão, Delmiro Gouveia, 2022.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes para a gestão dos resíduos da construção civil**. Brasília, DF, 2002.

CONCEIÇÃO, Jansen Ferreira da; SANTOS, Mischelle. Construção sustentável. In: **Engenharia na prática: construção e inovação**, v. 3. 2021. p. 426–458.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. **Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Penso Editora, 2021.

CUNHA, Késia da Silva; ROBERTO, José Carlos Alves; SOUTO, Sístina Pereira; LIMA, Suelen Costa. Resíduos sólidos na construção civil no Brasil. **Revista Gestão e**

Secretariado (GeSec), São Paulo, v. 14, n. 6, p. 8671–8692, 2023.

DA SILVA ETGES, Bernardo Martim Beck. Value-Adding Activities Level in Brazilian Infrastructure Construction Companies—9 Cases Study. In: **Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)**, Chennai, India. 2018. p. 18-22.

DA VEIGA, Susana Aparecida *et al.* Análise Da Importância Da Logística Lean Para a Construção Civil. **Interação-Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 20, n. 2, p. 18-33, 2018.

DAVE, Bhargav *et al.* Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. **Automation in construction**, v. 61, p. 86-97, 2016.

DO AMARAL, Cristiany de Nazaré Moscoso *et al.* Contribuição ao processo de gestão dos resíduos da construção civil em áreas urbanas: proposta de um modelo estatístico. **Revista Políticas Públicas & Cidades**, v. 13, n. 2, p. e1466–e1466, 2024.

DO NASCIMENTO, Emilli Rodrigues; DE MORAIS, Denilson Pedro Ferreira; LOPES, Shara Carvalho. Sustentabilidade na construção civil no Brasil: Uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e524111436611-e524111436611, 2022.

DO PRADO, Josiel Silva; CALDERARO, Douglas Rhoden; PIRAN, Fabio Antonio Sartori. Efeitos da utilização dos princípios da construção enxuta no desempenho operacional das empresas da construção civil: uma pesquisa considerando a percepção de profissionais do Rio Grande do Sul. **Revista Produção Online**, v. 19, n. 2, p. 498-517, 2019.

DUARTE, Susana; CRUZ-MACHADO, V. Modelling lean and green: a review from business models. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 4, n. 3, p. 228-250, 2013.

DUMMER, Geovani. **Contribuição para a discussão sobre sustentabilidade na construção civil**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

EIVINDSON, Espen *et al.* Inefficiencies in Norwegian small-scale construction, or the problem of too long trucks?. **Procedia engineering**, v. 196, p. 543-549, 2017.

FARIA, Stella Rodrigues de. **Análise da contribuição do lean na redução do impacto ambiental em obras de urbanização**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2022.

FEITOSA, Adriano Arruda. **Planejamento de obras: um comparativo entre empreendimentos que recebem consultoria especializada e empreendimentos que possuem equipes de planejamento próprias**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2023.

FELIPE, Vítor *et al.* Produção Enxuta e Construção Enxuta: um paralelo entre técnicas. **Exacta**, v. 16, n. 3, p. 1-15, 2018.

FORMOSO, C. T. Lean Construction e a construção enxuta. **Associação de**

Engenharia e Arquitetura (AEA), 2015. Disponível em: <https://aea.com.br/blog/lean-construction-e-a-construcao-enxuta/>.

FORMOSO, Carlos T. Lean Construction: princípios básicos e exemplos. **Construção Mercado: custos, suprimentos, planejamento e controle de obras**. Porto Alegre, v. 15, p. 50-58, 2002.

FRANCELINO, Thiago Ribeiro *et al.* Melhorias de processos com a aplicação da filosofia Lean. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP)**, 26., 2006, Fortaleza. Fortaleza: ABEPRO, 2006.

GARCÉS, Gonzalo; PEÑA, C. A review on lean construction for construction project management. **Revista ingeniería de construcción**, v. 38, n. 1, 2023.

GARCIA, Martim. Cidades Sustentáveis. **Ministério do Meio Ambiente**, 2023.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GLOVACKI, Marcelo; OSCAR, Luiz Henrique Costa. Linha de Balanço: Aplicações e seus prós e contras para a Construção Civil. **Boletim do Gerenciamento**, n. 44, 2024.

GOMES, Maria Micheline Barreto; DE OLIVEIRA, Marisonia Benevides Pinheiro; HEINECK, Luiz Fernando Mählmann. Representações gráficas para uma visão conjunta de lean construction e linha de balanço. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO**, v. 12, p. 1-8, 2021.

GONÇALVES, José Roberto Moreira Ribeiro; HAUBRICK, Suelen Cristine Oliveira de Paula. Medidas de redução de geração de resíduos sólidos na construção civil como atendimento dos requisitos de sustentabilidade do PBQP-H/SIAC. **Revista Augustus**, v. 25, n. 50, p. 12-32, 2020.

HASAN, Abid; SHRESTHA, Asheem; KUMAR, Neeraj Jha. **Construction company management**. London: Routledge, 2024.

HEINECK, L. F. M; MOURA, R. S. L. M; Linha de Balanço – síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 15. Alagoas, 2014. p. 1358-1367.

HILGERT, Gabriel Chinazzo. **Elaboração de orçamento e planejamento de um bloco habitacional**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

JOHNSTON, David W. Linear scheduling method for highway construction. **Journal of the Construction Division**, v. 107, n. 2, p. 247-261, 1981.

JUNIOR, José Atila Matos Aroucha *et al.* Gestão de resíduos da construção civil. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 4, p. e3841-e3841, 2024.

JUNQUEIRA, Luiz Eduardo Lollato. **Aplicação da Lean Construction para redução dos custos de produção da casa 1.0**. 2006. 146 f. Dissertação (Especialização em Engenharia de Produção para Construção Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção, São Paulo, 2006.

KEELER, Marian; BURKE, BILL. A Gestão de Resíduos de construção e Demolição. In: KEELER, M; BURKE, Bill. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

KEMMER, Sergio (org.). Lean construction: evolução na gestão da construção civil. Curitiba: **SK Consultoria & Treinamento**, 2021. E-book, 29 p.

KIBERT, Charles J. **Sustainable construction: green building design and delivery**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.

KOSKELA, Lauri *et al.* **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Stanford university, 1992.

KOSKELA, Lauri; VRIJHOEF, Ruben. The four roles of supply chain management in construction. **European journal of purchasing & supply management**, v. 6, n. 3-4, p. 169-178, 2000.

KUREK, Juliana *et al.* Implantação dos princípios da Construção Enxuta em uma empresa construtora. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 2, n. 1, p. 20-36, 2013.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LALMI, Abdallah; FERNANDES, Gabriela; SOUAD, Sassi Boudemagh. A conceptual hybrid project management model for construction projects. **Procedia Computer Science**, v. 181, p. 921-930, 2021.

LEÃO, Úrsula Maíra Maciel Rigon; LEÃO, Marlon; SANCHES, João Carlos Machado; SCHNEIDER, Karen Wrobel Straub; VALENZUELA, Rafaely Gianotto; SCHNEIDER, Roselene Maria. O cenário do gerenciamento de resíduos da construção civil no Brasil. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 20., 2024, Maceió. ANTAC, 2024.

LEITE, Izabella C. A.; DAMASCENO, João L. C.; REIS, Alexandre M.; ALVIM, Marina. Gestão de resíduos na construção civil: um estudo em Belo Horizonte e região metropolitana. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 14, n. 1, p. 159-175, 2018.

LOPES, Diogo Plachi *et al.* SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, p. 10-98, 2023.

LORENZON, Itamar Aparecido. **A medição de desempenho na construção enxuta: estudos de caso**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

LUCKO, Gunnar; ALVES, Thaís Da CL; ANGELIM, Vanessa Lira. Challenges and opportunities for productivity improvement studies in linear, repetitive, and location-based scheduling. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 6, p. 575-594, 2014.

MARCHESINI, João Henrique Belem. **Aplicação da linha de balanço com ritmo fixo para o planejamento e gestão de obras de infraestrutura urbana**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

- MARQUES, Mauricio Dias; SIMÕES, Rebeca Delatore; JUNIOR, Sérgio Silva Braga. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL: POSSIBILIDADES E DIFICULDADES. **ARACÊ**, v. 7, n. 3, p. 11087-11111, 2025.
- MARTINS, João Poças; MONTEIRO, André. Linha de Balanço - Uma Nova Abordagem ao Planeamento e Controlo das Actividades da Construção. **Gescon** 2011, 2011.
- MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: Pini, 2010.
- MATTOS, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras**. Oficina de Textos, 2019.
- MENDES JUNIOR, Ricardo. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. 1999. 234 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- MENDONÇA, Monalisa Martins. **Sustentabilidade na construção civil: realidade ou utopia?** 2010. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2010.
- MOURA, Rafael de Sousa Leal Martins; HEINECK, Luiz Fernando Mählmann. **Linha de balanço: síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras?**. 2014.
- OLIVEIRA, Fernanda Carvalhal de; SANTOS, Valdete Guariza dos; RISSI, Vanderleia Maria da Penha; BOUVIER, Victor Pivetta; ROSA, Saulo Pedrone da; KNUPP, Andrielly Moutinho. Elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos da construção civil em um empreendimento hospitalar. **Revista Esfera Tecnologia**, v. 4, n. 2, 2018.
- ORRO, Victória Aparecida Mercurio Gattass; TRINDADE, Christiane Areias. **Utilização do BIM na gestão de projetos aliada ao Lean Construction**. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2024.
- PATUSSI, Vitor Moisés. **Aplicação dos conceitos lean construction no planejamento de obras verticais**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.
- PÉRICAS, Francisco Reinert Adell. **Linha de balanceamento como potencializadora da implantação dos princípios da lean construction: estudo de caso**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.
- PINTO, Cynthia; SILVA, Simone. Análise do gerenciamento de resíduos da construção civil na cidade de Manaus, sob a perspectiva da sustentabilidade. **Peer Review**, v. 5, n. 12, p. 223-243, 2023.
- PREVISION, Izadora Scariot da (org.). **O que é a Linha de Balanço (LOB)?** 2026. Sienge. Disponível em: <https://sienge.com.br/blog/linha-de-balanco-o-que-e/>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- PROÊZA, Thayna de Souza; RODRIGUES, Rafael Felipe Teixeira. Lean construction, eficiência e otimização na construção: estudo de caso. **Gestão e Gerenciamento**, n. 34, 2025.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Editora Garamond, 2000.

SANTOS, Aleomar Marciel Mendes dos. **Planejamento e controle da produção na construção civil**. Luis Eduardo Magalhães, 2022. 42 f. TCCP (Especialização em Engenharia Industrial e de Sistemas) - Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro Multidisciplinar de Luís Eduardo Magalhães, Luís Eduardo Magalhães, BA, 2022

SANTOS, Matheus Palma. **Melhoria de processos executivos pelo método lean construction em obras de alvenaria estrutural: estudo de caso em Joinville/SC**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2024.

SANTOS, R. L. R. dos *et al.* Modelo de previsão da geração de resíduos de construção e demolição para cidades brasileiras de médio porte populacional. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, p. 305–314, 2023.

SCAGLIONI, Luiz Paulo Oliveira *et al.* UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS INDUSTRIAIS COM LINHA DE BALANÇO. **PISTA: Periódico Interdisciplinar [Sociedade Tecnologia Ambiente]**, v. 4, n. 1, p. 235-253, 2022.

SEVERIANO JÚNIOR, Wagner Oliveira. Construção verde: emprego de recursos renováveis na construção civil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 7, p. 792–807, 2021.

SHINGO, Shigeo. **Sistemas de produção com estoque zero: o sistema Shingo para melhorias contínuas**. Bookman, 1988.

SILVA, Diogo Hilário da *et al.* Construção sustentável na engenharia civil. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 4, n. 2, p. 89-89, 2017.

SILVA, Luciana Freitas da. **Integração da metodologia BIM aos processos de avaliação da sustentabilidade em projetos de construção**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2025.

SILVA, Mário Ceder. **Análise da metodologia Lean Construction e os efeitos no planejamento e controle de obras**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil da Mobilidade) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Anápolis, Anápolis, 2023.

SILVA, Noame Pereira da. **Avaliação de práticas sustentáveis no gerenciamento de resíduos da construção civil: um estudo em canteiro de obras**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2025.

SILVA, Tharlys Hikaro Pinheiro *et al.* Integração entre BIM e robótica na construção civil: avanços, desafios e perspectivas futuras. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, v. 20, p. 1-15, 2024.

SOARES, Breno Guedes; CARVALHO, Laísa Cristina. **Sustentabilidade na construção civil: vantagens e desvantagens do uso do tijolo ecológico**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro

Universitário do Sul de Minas (UNIS-MG), 2023.

SOUSA, Rafaela. **Sustentabilidade**. Brasil Escola, 2023. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/educacao/sustentabilidade.htm>. Acesso em: 22 abr. 2026.

TORRES, Geovane Petrungaro *et al.* Métodos construtivos sustentáveis: reutilização de containers na construção civil. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 3, n. 3, p. 1-15, 2020.

VALLE, Paulo Roberto Dalla; FERREIRA, Jacques de Lima. Análise de conteúdo na perspectiva de Bardin: contribuições e limitações para a pesquisa qualitativa em educação. **Educação em Revista**, v. 41, p. e49377, 2025.

VENTURINI, Juliana Sanches. **Proposta de ações baseadas nos 11 princípios Lean Construction para implantação em um canteiro de obras de Santa Maria**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

VIANA FRUGONI DE SOUZA, Leonardo; BECKER VOLTA, Cláudia; ARAÚJO MAGALHÃES, Iara de. Aplicação do método da linha de balanço no planejamento e controle de obras com atividades repetitivas. **Seminário Estudantil de Produção Acadêmica**, v. 13, 2014.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas – elimine o desperdício e crie riquezas**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

XING, Weiqi *et al.* Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: a case study in Suzhou, China. **Journal of cleaner production**, v. 286, p. 124944, 2021.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso-: Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015.

YUDELSON, Jerry. **Projeto integrado e construções sustentáveis**. Bookman Editora, 2013.