



FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**Construções enxutas: um estudo de caso em um complexo
residencial de paredes de concreto**

MILTON CESAR VIEIRA JUNIOR

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Akasaki.

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Faculdade de Engenharia do
Campus de Ilha Solteira - UNESP, como parte
dos requisitos de inscrição na disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de
graduação em Engenharia Civil.

Ilha Solteira – SP

Dezembro de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- V658c Vieira Junior, Milton Cesar.
Construções enxutas: um estudo de caso em um complexo residencial de paredes de concreto / Milton Cesar Vieira Junior. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
62 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024
- Orientador: Jorge Luis Akasaki
- Inclui bibliografia
1. Parede de concreto. 2. Construção enxuta. 3. Fluxo de trabalho.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: **MILTON CESAR VIEIRA JUNIOR**

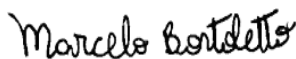
Titulo: **“CONSTRUÇÕES ENXUTAS: UM ESTUDO DE CASO EM UM COMPLEXO RESIDENCIAL DE PAREDES DE CONCRETO.”**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JORGE LUIS AKASAKI**
Data: 02/12/2024 15:53:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki
UNESP – Campus de Ilha Solteira
(Orientador)



Prof. Dr. Marcelo Bortoletto
(Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **LETICIA MARTELO PAGOTO**
Data: 02/12/2024 15:50:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng^a MSc. Leticia Martelo Pagoto
(Examinadora)

Ilha Solteira

02/12/2024

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento sempre vai para o meu Senhor e bom Deus, pelo qual tudo sou grato, pois sem Ele não conseguiria completar esta missão e minha família não estaria completa.

Os mais sinceros agradecimentos à minha família, que muito mais do que provedores, foram cruciais na minha formação. Entre trancos e barrancos, completo esta graduação ao vosso lado.

Minha mãe, Sidilene, você foi meu fortalecimento espiritual em toda essa jornada, obrigado pelas noites em claro orando, pelo seu amor e carinho derramado.

Meu pai, Milton, agradeço por ter me dado confiança e segurança que eu precisava para me tornar um homem ao longo do caminho.

Minha irmã, Bianca, minha maior referência de ser humano, obrigado pelo apoio de quem sabia o que eu estava passando melhor do que ninguém.

Vocês são o meu coração, o meu tudo, amo vocês.

Aos meus queridos amigos da desprezível República Dama Amada, em especial aos co-fundadores Alberto, João Pedro, Renan e Rodolfo: vocês me acompanharam neste caminho em que nem sempre eram flores, e tornaram a jornada mais agradável.

Aos demais membros: Guilherme, João Vitor, Matheus, Pedro e ao agregado Gabriel, deposito toda a confiança de que trilharão um caminho brilhante e honrarão a Dama.

O caminho foi trilhado e meu peito se enche de gratidão, até breve UNESP!

“É justo que muito custe o que muito vale.”
– Santa Teresa D’Ávila.

RESUMO

O sistema construtivo de paredes de concreto se tornou relevante no Brasil devido ao alto índice de incentivo governamental e bancário. Através de propostas mais modestas, os empreendimentos normalmente são destinados a famílias de classe média-baixa. Na região de São José do Rio Preto/SP, uma empresa se destacou por lançar o maior empreendimento multipavimento até então, sendo notada por compradores, profissionais interessados e de outras empresas do mesmo ramo. Este sistema construtivo contempla diversas diferenças com o tradicional por possuir um direto corte de desperdícios ao eliminar grande parte dos processos em comparação a uma obra de alvenaria, por exemplo. Entretanto, buscando por uma melhoria contínua, iniciou-se a aplicação de ferramentas da teoria da produção, até o momento em que os profissionais responsáveis tomaram conhecimento da teoria do *lean construction*. Através do mapeamento dos processos, um cronograma que busca eliminar restrições e as ferramentas oferecidas pelo *lean construction*, trilhou-se um caminho claro para o corte de desperdícios neste empreendimento. Ao mapear os processos com o último *planner*, a clareza do fluxo de trabalho refletiu diretamente na produtividade e eliminação de desperdícios. O principal impacto gerado pelo trabalho foi na redução de gastos com caminhão munck terceirizado. A aplicação da metodologia *lean* nesta obra, portanto, se demonstrou frutífera apenas com a melhoria de um único processo.

Palavras-chave: parede de concreto; construção enxuta; restrição; fluxo de trabalho;

ABSTRACT

The concrete wall construction system has become relevant in Brazil due to the high rate of government and bank incentives. With more modest proposals, the developments are usually aimed at lower-middle class families. In the São José do Rio Preto/SP region, one company stood out for launching the largest multi-storey development to date, and was noticed by buyers, interested professionals and other companies in the same field. This construction system differs from the traditional one in that it directly cuts down on waste by eliminating a large part of the processes compared to masonry, for example. However, in the search for continuous improvement, the application of production theory tools began, until the professionals in charge became aware of lean construction theory. Through process mapping, a schedule that seeks to eliminate restrictions and the tools offered by lean construction, a clear path was paved for cutting waste in this project. By mapping the processes with the latest planner, the clarity of the workflow had a direct impact on productivity and the elimination of waste. The main impact generated by the work was a reduction in the cost of an outsourced muck truck. The application of the lean methodology on this site, therefore, proved fruitful with the improvement of just one process.

Keywords: concrete wall; lean construction; constraint; workflow;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifício de paredes de concreto sendo construído	21
Figura 2: Dispositivo de união: faqueta, pino e cunha.....	23
Figura 3: Armação de paredes.....	25
Figura 4: Edifício de paredes de concreto sendo construído.	26
Figura 5: Concreto espalhado pelo cone de teste de flow.....	27
Figura 6: Tríades de estruturação de trabalho enxuto.....	32
Figura 7: Modelo de Produção de Sistema.	34
Figura 8: Modelo de Último Planner.....	36
Figura 9: Definição de Modelo de Atividade.....	36
Figura 10: Foto de um dos blocos já concretados.....	38
Figura 11: Marcação das estacas.	39
Figura 12: Escavação das estacas.....	39
Figura 13: Concretagem das estacas.....	40
Figura 14: Escavação do baldrame.....	41
Figura 15: Concretagem do baldrame.....	42
Figura 16: DMA da marcação do piso.	43
Figura 17: Marcação do piso.....	43
Figura 18: DMA armação das paredes.....	44
Figura 19: DMA armação e instalações das paredes.....	44
Figura 20: DMA instalações elétricas e hidráulicas das paredes.	45
Figura 21: DMA montagem da fôrma.	46
Figura 22: Montagem da fôrma.	47
Figura 23: DMA armação de laje.....	48
Figura 24: DMA instalações elétricas e hidráulicas da laje.	49
Figura 25: Armação e instalações de laje.	49
Figura 26: DMA concretagem.	50
Figura 27: Concretagem.....	51
Figura 28: DMA desforma.	52
Figura 29: Estrutura recém desformada.....	52
Figura 30: Rotina da equipe de armação.	55
Figura 31: Alteração proposta da rotina de trabalho dos armadores.	56
Figura 32: Alteração proposta da rotina de trabalho dos armadores.	56
Figura 33: Último Planner para a eliminação da restrição apresentada.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Teoria TFM de Produção (Koskela, 2000).	30
Quadro 2: Cronograma que olha para frente para a eliminação de restrições.	53
Quadro 3: Restrições mapeadas em uma semana.	54
Quadro 4: Horas registradas de trabalho do caminhão munck antes da alteração da rotina.	55
Quadro 5: Horas registradas de trabalho do caminhão munck após a alteração da rotina.	58
Quadro 6: Simulação da eliminação do desperdício financeiro bruto.	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. OBJETIVO GERAL.....	20
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1. MÉTODO CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO	21
3.1.1. CONCEITO DE SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAREDES DE CONCRETO	21
3.1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM SÃO JOSÉ DO RIO PRETO	22
3.1.3. CARACTERÍSTICAS.....	22
3.1.3.1. FÔRMAS	22
3.1.3.2. AÇÕES.....	24
3.1.3.3. ARMAÇÃO	24
3.1.3.4. INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS	25
3.1.3.5. CONCRETAGEM	26
3.1.3.5.1. CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA).....	26
3.1.3.5.2. BOMBEAMENTO DO CONCRETO	28
3.2. LEAN CONSTRUCTION	28
3.2.1. CONCEITO DE LEAN CONSTRUCTION	28
3.2.1.1. TEORIA TFM DE PRODUÇÃO.....	29
3.2.1.2. O GERENCIAMENTO ATUAL DE CONSTRUÇÕES.....	30
3.2.1.3. INCORPORANDO A METODOLOGIA LEAN À CONSTRUÇÃO.....	31
3.2.1.4. MODELO DE SISTEMA DE ENTREGA DE PROJETO ENXUTO	31

3.2.2. FERRAMENTAS E TÉCNICAS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA	33
3.2.2.1. CRONOGRAMAS	34
4. METODOLOGIA.....	35
4.1. O ÚLTIMO PLANNER: CONTROLANDO A PRODUÇÃO	35
4.2. BENEFÍCIOS DO GERENCIAMENTO ENXUTO	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	38
5.2. PROCESSO CONSTRUTIVO	39
5.2.1. FUNDAÇÃO	39
5.2.2. MARCAÇÃO DO PISO REGULARIZADO	42
5.2.3. ARMAÇÃO DAS PAREDES.....	43
5.2.4. INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS DAS PAREDES.....	45
5.2.5. MONTAGEM DA FÔRMA	45
5.2.6. ARMAÇÃO DAS LAJES.....	47
5.2.7. INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS DAS LAJES.....	48
5.2.8. CONCRETAGEM	50
5.2.9. DESFORMA.....	51
5.3. APLICAÇÃO DO CONCEITO LEAN NO EMPREENDIMENTO.....	53
5.3.1. SEMANA 1 - LEVANTAMENTO DE RESTRIÇÕES.....	53
5.3.2. SEMANA 2 E 3 – ELABORAÇÃO DE UM ÚLTIMO PLANNER PARA ELIMINAÇÃO DE RESTRIÇÃO	54
5.3.3. SEMANAS 3 E 4 – APLICAÇÃO DO PLANO ÚLTIMO	57
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
7. CONCLUSÃO	59
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil tem se transformado constantemente, buscando novas soluções que atendam às crescentes demandas de moradia e infraestrutura de maneira mais rápida, econômica e eficiente. No Brasil, o aumento da demanda por construções sociais e os incentivos governamentais impulsionaram a adoção de novas técnicas construtivas, destacando-se, entre elas, o sistema construtivo de paredes de concreto moldadas *in loco*. Este sistema tem se consolidado como uma solução eficiente tanto para residências unifamiliares quanto para edifícios habitacionais, especialmente nas regiões que enfrentam um rápido crescimento demográfico, como São José do Rio Preto/SP. A utilização deste método oferece diversos benefícios, como o melhor controle da qualidade, a redução de prazos e a racionalização dos materiais, além de possibilitar maior precisão nas execuções, com impactos diretos na economia e produtividade das obras (FONSECA Jr., 2022).

Em acréscimo ao conceito de *lean construction* (construção enxuta), tem emergido como um modelo de gerenciamento que busca otimizar processos e agregar valor ao projeto, baseado em princípios de eliminação de desperdícios e melhoria contínua. Inspirado nas práticas da *lean production* desenvolvidas no Japão, o *lean construction* propõe uma nova abordagem para a construção civil, focando na criação de valor, na eficiência dos fluxos de trabalho e na integração entre todas as partes envolvidas no projeto. Embora o gerenciamento tradicional de projetos de construção quebre as atividades em etapas separadas, o modelo enxuto integra as fases do projeto, priorizando o alinhamento de interesses entre cliente e *stakeholders*, e a melhoria contínua ao longo do processo (Howell-et-al).

O presente trabalho busca analisar como a implementação do sistema de paredes de concreto moldadas *in loco*, aliado aos princípios do *lean construction*, tem transformado a construção civil na região de São José do Rio Preto, propondo uma abordagem mais racionalizada e eficiente. A pesquisa irá investigar as implicações desse método construtivo tanto na qualidade das obras quanto nos prazos de execução, bem como seus impactos no gerenciamento de projetos. A partir desta análise, será possível compreender como a combinação de inovações tecnológicas e metodológicas pode contribuir para a evolução do setor, atendendo às necessidades da sociedade de maneira sustentável e com custos otimizados.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo geral fazer uma análise de produtividade de um empreendimento de sistema construtivo em paredes de concreto sob a ótica da metodologia *lean construction*.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar um mapeamento dos fluxos de trabalho;
- Melhorar o fluxo do sistema de paredes de concreto pela aplicação da metodologia *lean construction*.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. MÉTODO CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO

3.1.1. CONCEITO DE SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAREDES DE CONCRETO

Inicialmente definido tecnicamente pela ABNT NBR em 2012, atualizada em 2022, o sistema construtivo de parede de concreto se refere a um elemento estrutural autoportante, moldado no local, capaz de suportar carga axial, com ou sem flexão, concretadas com todos os elementos que farão parte da construção final: detalhes de fachada (frisos, rebaixos), armaduras, instalações elétrica e hidráulica e até mesmo elementos estruturais solidarizados. Se aplica também a edifícios com lajes, incorporadas solidariamente com as paredes, formando um sistema monolítico (ABNT NBR 16055:2022).

Na Figura 1 temos um exemplo de edifício no sistema de paredes de concreto ainda em processo de construção, em que fica evidente os aspectos do sistema.

A repetição seriada das paredes de concreto traz consigo uma série de impactos positivos para o empreendimento. Dentre eles podemos citar: o melhor controle da qualidade, por diminuir os erros na execução – tanto das instalações quanto da armação – a equipe pode contar com mais precisão durante os levantamentos de materiais, abrindo possibilidades para escolhas de melhor qualidade; a redução de prazos para a conclusão da obra é outra consequência da facilidade da execução que as paredes de concreto trazem consigo, visto a necessidade inicial de somente uma equipe bem treinada; a racionalização mais precisa dos materiais não traz apenas a melhoria na qualidade da obra como um todo, mas também melhora a economia da obra (FONSECA Jr., 2022).

Figura 1 - Edifício de paredes de concreto sendo construído



Fonte: Autoria própria.

3.1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM SÃO JOSÉ DO RIO PRETO

A cidade de São José do Rio Preto possui uma população estimada em 2024 de 501.597 pessoas, sendo a mais populosa de sua região geográfica (IBGE Cidades, 2024). Em comparação com o último censo, realizado em 2022, onde a população era de 480.393 pessoas, houve um aumento de 4,41%.

O aumento da demanda por construções sociais e incentivos governamentais impulsionou novas técnicas construtivas no Brasil. Devido à necessidade de construções em larga escala, as construtoras adotaram sistemas mais racionalizados. O sistema de paredes de concreto moldadas in loco tornou-se popular, sendo utilizado tanto em casas térreas quanto em edifícios habitacionais de renda média.

O acentuado crescimento demográfico de São José do Rio Preto na última década exigiu do mercado soluções rápidas e acessíveis. Vendo no sistema construtivo de paredes de concreto uma oportunidade altamente atrativa, uma empresa foi a pioneira na região, trazendo consigo a expertise, bem como a mão de obra qualificada, já aplicada anteriormente em outras regiões do Brasil. Com sucesso, o primeiro empreendimento de paredes de concreto se tornou um exemplo de produtividade e lucratividade, chamando a atenção de outras empresas.

A fim de atender as demandas de moradia, outras empresas iniciaram na construção de empreendimentos de paredes de concreto, dispondo da mão de obra qualificada trazida pela primeira. Logo o método construtivo estava consolidado não só em São José do Rio Preto, mas em toda a região, dispondo de mais e mais área construída.

3.1.3. CARACTERÍSTICAS

3.1.3.1. FÔRMAS

Os sistemas de fôrmas são antigos aliados na construção civil. Estruturas modulares temporárias utilizadas como moldes para manter o concreto no lugar devido até adquirir a resistência necessária.

Tradicionalmente feitas de madeira, sua utilização para o sistema de paredes de concreto evoluiu para outros materiais como o aço e alumínio. Sua precisão e eficiência são essenciais para as economias de tempo e custo, bem como a padronização das paredes.

Unida à industrialização da construção civil, a utilidade das fôrmas no sistema construtivo de paredes de concreto não se resumiu simplesmente na economia, mas se tornou um diferencial competitivo. (FONSECA Jr., 2022).

Os componentes do sistema de fôrmas para paredes de concreto são:

- Painéis: superfícies lisas que entram em contato com o concreto, modelando as paredes e lajes de forma uniforme. As formas de alumínio ganham destaque por sua leveza e praticidade. Limpezas constantes e a manutenção dos painéis são importantes para que a uniformidade se mantenha.

- Faqueta: também conhecida como corbata, são utilizadas nos vãos deixados proposital e calculadamente entre as placas dos painéis. Garantem a distância entre as duas placas paralelas, mantendo a mesma espessura da parede. São envolvidas por uma camisa, que protege a faqueta, envolvendo-a, na hora da concretagem e facilita sua remoção na pós concretagem.

- Pinos e Cunhas: o pino atravessa a ligação painel-faqueta-painel, exemplificado na Figura 2, sendo travado pela cunha, que garante a estabilidade e travamento do sistema.

Figura 2: Dispositivo de união: faqueta, pino e cunha.



Fonte: Autoria própria.

- Esquadros e Alinhadores: peças metálicas encaixadas nos cantos e reguladas através de chapoulas, garantem a conformidade dos cantos.

- Alinhadores: hastes colocadas sobre suportes encaixados entre os painéis que garantem o prumo, planicidade e uniformidade das paredes.

- Tensores: hastes posicionadas nos vãos de janelas e portas para o garantir o perfeito alinhamento.

- Escoras: também chamadas de estroncas, apoiam verticalmente a laje, fornecendo sustentação mecânica para que o processo de concretagem. Mantêm-se no local projetado até que o concreto atinja a resistência mínima para se sustentar.

3.1.3.2. AÇÕES

Todas as ações consideradas devem seguir a ABNT NBR 6118 e o cálculo dos esforços solicitantes acordado com os princípios da teoria das estruturas. Além disso, o contraventamento dos edifícios de paredes de concreto deve ser feito de forma a não ocorrer grandes deslocamentos relativos entre o topo e a base do edifício. (ABNT NBR 16055: 2022).

É importante que se observe a estabilidade lateral dos componentes e do conjunto através da disposição de paredes resistentes nas duas direções, bem como sua rigidez através da presença de armadura e fibras ligando as paredes (ABNT NBR 16055: 2022).

Também é necessário o cálculo de uma laje solidária com as paredes resistentes que funcionem como um diafragma rígido, transferindo os esforços horizontais a estas paredes; esta ligação é garantida com uma armadura de ligação entre paredes e lajes. Desta forma é garantida a monoliticidade do sistema (ABNT NBR 16055: 2022).

Cargas verticais devem ser consideradas segundo a ABNT NBR 6120, atuando paralelamente ao plano médio das paredes de concreto e calculadas como estruturas de casca plana. Desta forma, pode ser calculada em regime elástico (ABNT NBR 16055: 2022).

3.1.3.3. ARMAÇÃO

As armações são compostas por telas de aço soldada em união com barras e fios, evidenciadas na Figura 3, podendo conter também fibras de aço. Estes materiais devem respeitar as normas ABNT NBR 7481 e 7480.

A execução da armadura é crucial no êxito do sistema de paredes de concreto. Sendo assim, durante a armação, deve-se seguir estritamente o projeto.

A identificação deste produto deve ser clara, não podendo ser estocada em contato direto com o solo ou conter danos durante as operações de transporte e armazenagem.

A superfície da armadura deve ser livre de ferrugem e substâncias deletérias que afetam de maneira adversa o aço. Qualquer alteração na seção da armadura deve ser avaliada.

Figura 3: Armação de paredes.

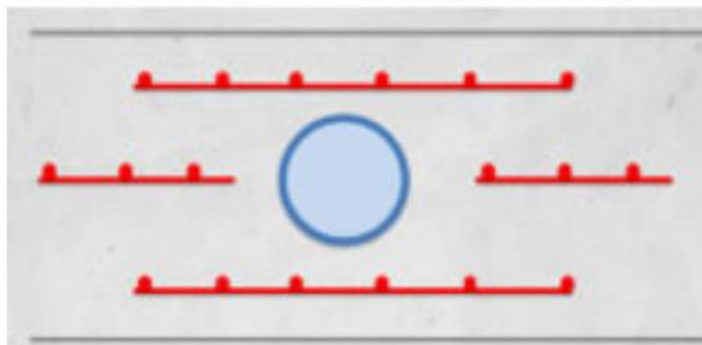


Fonte: Autoria própria.

3.1.3.4. INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS

A execução das instalações elétricas e hidráulicas são embutidas nas paredes de concreto, junto com armação das paredes, e possuem as mesmas exigências normativas, sendo: respeitar as condições de manutenibilidade da ABNT NBR 15575-2; diâmetro máximo de 25% da espessura da parede, espaçado em no mínimo 5 cm; se o diâmetro for maior que 25% da espessura da parede, que nunca ultrapasse 50% da espessura da parede, e se faz necessária a colocação de telas metálicas nas duas faces e não utilizar tubos metálicos, como ilustrada na Figura 4.

Figura 4: Ilustração de instalação entre as armações na fôrma.



Fonte: ABNT NBR 16055.

A execução das instalações elétricas e hidráulicas são etapas fundamentais na qualidade da execução edifício, podem ser feitas por mão de obra própria, em que é necessária a contratação de profissionais altamente qualificados, ou por empresas especializadas, que já possuem familiaridade com o processo construtivo.

Para qualquer opção escolhida, a importância da definição clara dos procedimentos é crucial para o atendimento das normas, evitando patologias e garantindo a praticidade do sistema construtivo de paredes de concreto.

3.1.3.5. CONCRETAGEM

3.1.3.5.1. CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA)

O processo de concretagem se inicia com a escolha do concreto a ser utilizado, devendo seguir minuciosamente as escolhas do projetista que informará, principalmente, a idade e resistência do concreto no momento de desforma, sua resistência à compressão característica aos 28 dias (f_{ck}), a classe de agressividade onde a obra será executada, módulo de elasticidade do concreto à determinada idade e tensão e sua retração (ABNT NBR 16055: 2022).

Além destes dados, é necessário que o especialista de concreto estabeleça a relação água-cimento segundo a ABNT NBR 12655, o consumo mínimo de cimento conforme a ABNT NBR 12655, a consistência, medida pelo abatimento do tronco de cone (ABNT NBR 16889) ou pelo espalhamento do concreto – slump – segundo a ABNT NBR 15823-2 e também o índice de estabilidade visual conforme a ABNT NBR 15823-1 (ABNT NBR 16055: 2022).

Tendo em vista que o processo construtivo resulta numa estrutura monolítica, trabalhabilidade e coesão são características importantes. Sendo assim, a escolha do

CAA, normatizado pela ABNT NBR 15823, é a mais favorável, podendo ter o acréscimo de fibras têxteis de polipropileno para o controle da retração.

O CAA preenche os vazios através de seu peso próprio, dispensando qualquer tecnologia externa de adensamento, envolvendo as barras de aço, e qualquer outro obstáculo, mantendo-se fluido e coeso. Por eliminar o processo de vibração, reduz o tempo e a equipe de concretagem, aspectos importantes em edificações de paredes de concreto. A fluidez e coesão são investigados através do teste de espalhamento *Flow*, que mantém um padrão de 65 ± 5 cm, exemplificado na Figura 5. Pode ser testada, também, através do teste do Funil V e da caixa L, em laboratório.

Figura 5: Concreto espalhado pelo cone de teste de flow.



Fonte: Autoria Própria.

Para o controle da qualidade do concreto, e consequentemente dos empreendimentos que utilizam o sistema de paredes de concreto, é fundamental o Concreto Dosado em Central, ou CDC, que assegura a execução das características do concreto. Ademais, o sistema construtivo necessita de um alto volume de concreto executado de forma ágil, em um curto espaço de tempo. Portanto, somente o CDC oferece volume e controle tecnológico correto (JÚNIOR, 2012).

3.1.3.5.2. BOMBEAMENTO DO CONCRETO

O concreto autoadensável (CAA) permite o bombeamento a longas distâncias, permitindo maior rapidez na execução da obra e acabamentos superficiais e diminuição de patologias como bicheiras e segregação (JÚNIOR, 2012).

O bombeamento de concreto em edifícios altos permite ciclos rápidos de concretagem, reduz custos e aumenta a produtividade. Ocupando pouco espaço, libera guindastes e elevadores para outros usos. A tecnologia garante distribuição precisa, supera obstáculos e mantém trabalho contínuo. Múltiplas bombas podem ser usadas para grandes vazões, adaptando-se a diferentes necessidades.

A escolha da bomba de concreto depende das dimensões da obra, volume e qualidade do concreto. Devendo, assim, distribuir o volume necessário no local, considerando a distância e velocidade, o que requer maior potência para maiores demandas.

A instalação do equipamento de bombeamento de concreto deve considerar o posicionamento, fluxo de caminhões, ausência de obstáculos, licenças necessárias e terreno nivelado. A área deve estar livre de interferências, permitindo a abertura completa dos apoios de estabilização das bombas-lanças (JÚNIOR, 2022).

3.2. LEAN CONSTRUCTION

Desde a metade de 1990, o conceito de lean construction emergiu como um novo conceito aplicável tanto à disciplina de gerenciamento de construções, quanto à parte prática das construções. É inegável que lean construction se apoia nas teorias toyotistas de lean production, mas há duas visões a respeito deste método. A primeira se apoia na ideia de que lean construction aplica diretamente os métodos da lean production na construção; ao passo que a segunda visão se apoia que a lean construction é uma nova metodologia baseada na teoria somente da lean production, sendo algo novo (KOSKELA L., 2002).

3.2.1. CONCEITO DE LEAN CONSTRUCTION

Para melhor clareza do conceito de lean construction, é necessário esclarecer alguns pontos: o que é uma teoria de produção, por que o gerenciamento de projetos convencional é falho e a entrega de um projeto lean na construção civil.

3.2.1.1. TEORIA TFM DE PRODUÇÃO

Uma teoria pode ser considerada um conhecimento condensado, a qual um novato com acesso tem o poder de fazer coisas que um expert faria ao aplicar seu conceito. Provê uma linguagem comum de trabalho, melhorando a cooperação e dando subsídios para quantificar o progresso. Além disso, baseadas numa teoria, ferramentas de criação, análise e controle podem são criadas (KOSKELA L., 2002).

Uma teoria de produção deve ser prescritiva: revelar como as ações contribuem para atingir as metas iniciais de produção. Existe, de forma geral, três nível dos sistemas produtivos: sua criação, controle e posterior melhora (KOSKELA L., 2002).

Para compor os níveis do sistema produtivo, a produção deve ter três tipos de metas: a produção de fato dos produtos no geral, melhoria do processo produtivo (custos e tempo de produção) e das necessidades do consumidor, como qualidade e durabilidade do produto (KOSKELA L., 2002).

De forma resumida, uma teoria fornece uma referência decisiva para a prática.

Diversas teorias da produção surgiram desde o início do processo produtivo junto à humanidade, dentre eles a visão de transformação, teoria da cadeia de valor, aplicações na economia e afins.

A visão proposta por Gilbreth e Gilbreth (1922) insere a ideia de produção como um fluxo, e proveu bases para o just-in-time do toyotismo e a teoria de lean production, que se baseava na eliminação de desperdícios no fluxo.

Uma terceira visão surgiu em 1930, por Shewhart, colocando a geração de valor como instrumento principal do processo produtivo.

Estas são as três maiores visões independentes da produção, cada um com seus próprios métodos, conceitos e ferramentas de aplicação. Entretanto, não há uma complementaridade sinérgica que une os interesses de todas as partes. Em um processo produtivo, a busca independente por transformação, fluxo e valor gera excesso de trabalho e mão-de-obra, além de, por não possuir um único método integrativo, conflitos de interesse.

Partindo desta necessidade de tríplice integração: transformação, fluxo e valor, Koskela introduziu a chamada Teoria TFM de Produção, que se encontra traduzido no Quadro 1. Nela não há novidades teóricas, mas uma integração prática de todos os pilares produtivos apresentados anteriormente.

Quadro 1: Teoria TFM de Produção

	TRANSFORMAÇÃO	FLUXO	VALOR
CONCEITO DE PRODUÇÃO	Informações de entrada em informações de saída	Fluxo do material e sua transformação, inspeção, movimento e espera	Criação de valor através do cumprimento dos requisitos do cliente
PRINCÍPIO	Produção realizada de forma eficiente	Eliminação de desperdício (atividades que não agregam valor)	Eliminação de perda de valor (valor alcançado em comparação com o melhor valor possível)
MÉTODOS E PRÁTICAS	Estrutura analítica do trabalho, planejamento de recursos de produção, gráficos de responsabilidade organizacional	Fluxo contínuo, puxar controle de produção, melhoria contínua	Departamento funcional de qualidade, métodos de captura de requisitos
CONTRIBUIÇÃO PRÁTICA	Cuidar do que tem que ser feito	Ter certeza de que coisas desnecessárias são feitas o mínimo possível	Cuidar dos requisitos do cliente da melhor maneira possível
NOME SUGERIDO DA APLICAÇÃO PRÁTICA	Gerenciamento do trabalho	Gerenciamento de fluxo	Gerenciamento de valor

Fonte: Traduzido de Koskela, 2000.

3.2.1.2. O GERENCIAMENTO ATUAL DE CONSTRUÇÕES

No gerenciamento tradicional de projetos de construção, as atividades são quebradas e são estimados limites de tempo e dinheiro para cada etapa, aplicando o método o caminho crítico para estabelecer uma lógica e sequência das atividades.

Em seguida, essa lógica é posta em um cronograma e submetido ao controle gerencial através de mapeamentos e modelos semafóricos. O gerente determina se cada atividade do projeto está dentro do custo e prazo estabelecido, redefinindo os caminhos e planos para atingir as metas.

Ao passo que o gerente do projeto luta para alcançar os objetivos, cada parte interessada cuida da sua própria atividade, melhorando sua performance estimada.

Este tipo de gerenciamento parece bem razoável, mas sob a ótica da lean construction, falha na determinação do fluxo de trabalho e na entrega de valor (KOSKELA L., 2002).

Projetos atualmente são complexos, incertos e rápidos (Shenhar e Laufer, 1995). Através das exigências de mercado, temos, cada vez mais, prazos mais curtos.

Neste cenário, simples tarefas não estabelecem sinergia sequencial de cadeia, não sendo previstos anteriormente em teor de planejamento do gerenciamento do projeto. Além disso, estabelecer o controle gerencial em resultados colocados nos mapeamentos e radares semafóricos não dão clareza do que pode ser feito para melhorar os processos e aumentar a produção. O que basicamente se faz é aumentar

a quantidade de mão-de-obra, sem necessariamente garantir a qualidade do serviço executado, não se importando com a próxima etapa do serviço e seus executores.

Por fim, a metodologia atual de gerenciamento de projetos, ao analisar os objetivos corporativos, se baseia numa oposição entre o cliente e o gerente de projetos. O valor para o cliente é não ter nenhuma alteração de cronograma, escopo ou custo, ao passo que o gestor luta para garantir o que foi acordado inicialmente e garantir o sucesso proposto.

A lean construction se baseia na Teoria TFM de Produção, otimizando o processo de gerenciamento nos três fundamentos, transformação, fluxo e valor, melhorando a performance em projetos complexos, incertos e rápidos (KOSKELA L., 2002).

3.2.1.3. INCORPORANDO A METODOLOGIA LEAN À CONSTRUÇÃO

A construção se difere de outros produtos, simplesmente porque seu processo produtivo gera um produto que ficará para sempre fixo ao chão. São grandes demais para serem transportadas. Ao invés dos insumos se concentrarem em apenas um local, como na fábrica, e gerarem um produto que será entregue a diversos clientes, em diversos locais, os insumos saem de diversos locais para elaborar um produto que ficará para sempre em um local.

Um sistema de entrega de projetos enxutos compreende os três objetivos estabelecidos por Koskela (2000): transformação, fluxo e valor. Um projeto ideal de lean construction fornece uma construção única para cada cliente em tempo zero, sem desperdícios. Logo, técnicas vêm e vão até atingir estas metas, que serão buscadas perpetuamente.

Em alguns aspectos, entretanto, como as estruturas contratuais e interações compartilhadas de equipes, as práticas tradicionais e enxutas são similares (KOSKELA L., 2000).

3.2.1.4. MODELO DE SISTEMA DE ENTREGA DE PROJETO ENXUTO

A chave das diferenças de um projeto enxuto e tradicional se dá na divisão das fases e nos participantes de cada uma.

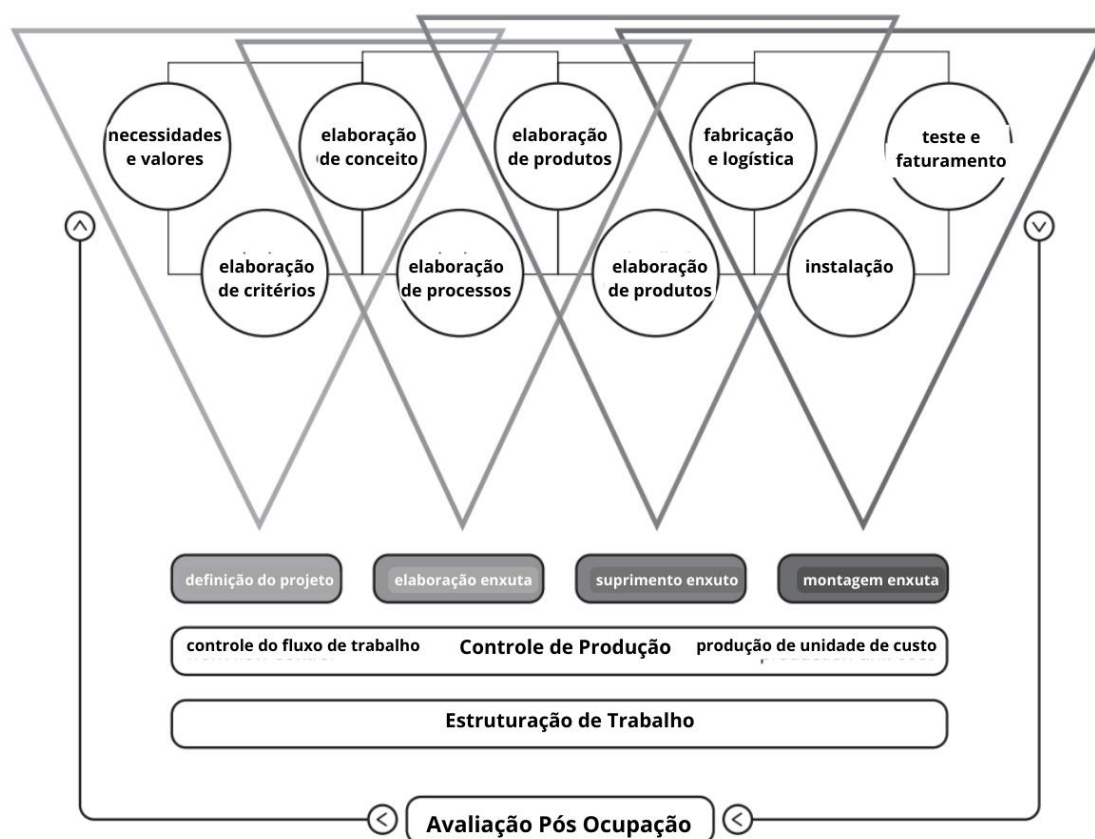
A primeira fase é a Definição do Projeto, no qual o alinhamento de cliente e partes interessadas, planejamento dos conceitos e planejamento dos critérios compõem a definição do escopo. Através de uma boa conversa, cada parte

interessada deixa sua bagagem e acrescenta algo de valor ao projeto, que é determinado de forma recursiva (Howell-et-al, 2002).

Este alinhamento e esclarecimento de valores, conceitos e critérios permite a transição para o Planejamento Enxuto, no qual uma conversa similar acontece, levando o nível da conversa para o operacional. A conversa, em nível de produção e entrega, deve ser levada nas minúcias, declarando o modo como se dará o serviço como uma instrução técnica. Frequentemente esta etapa levará a oportunidades de acréscimo de valor agregado, retornando à Definição do Projeto. Entretanto, não há preocupação com isso, visto que leva a uma maior maturação do projeto.

Com os processos bem definidos, o projeto passa para etapas de detalhamento de engenharia, fabricação e entrega, onde toca nas etapas de Fornecimento Enxuto e Conjunto Enxuto, onde há o processo manual de execução (Howell-et-al, 2002).

Figura 6: Tríades de estruturação de trabalho enxuto.



Fonte: Traduzido de Howell-et-al, 2002.

Na Figura 6, temos a tríade de estruturação do trabalho *lean*, no qual a última etapa de um processo inicia o próximo, dividindo-as em três etapas cada (Howell-et-al, 2002). A definição do projeto refere-se à concepção do projeto junto ao cliente, que evolui para a Elaboração Enxuta, no qual definem-se os métodos a serem utilizados.

Em seguida, o fornecimento de insumos se refere à parte de Suprimento Enxuto. Por fim, a Montagem enxuta finaliza as tríades, testando a construção executada.

3.2.2. FERRAMENTAS E TÉCNICAS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

O gerenciamento de produção é o coração do método lean construction, consistindo na Estruturação do Trabalho e no Controle de Produção. Diversas ferramentas e técnicas foram desenvolvidas para implementar o Sistema de Entrega de Projeto Enxuto. Neste cenário, um sistema de construção enxuta se agarra na busca de metas por transformação, fluxo e valor. A Figura 7 demonstra como um brainstorm do fim ao início pode trazer clareza na tentativa de agregar valor.

Durante a estruturação do fluxo de trabalho enxuto, o gestor se agarra na divisão do trabalho em pedaços menores, que serão sequenciados da melhor maneira na busca do valor agregado (Howell-et-al, 2002).

Com a divisão sistemática do trabalho em etapas, é preciso definir um critério de aprovação do serviço para a liberação do próximo consequente. Nesta divisão, já são elencados os serviços que são pré-requisitos para outros e os que são desacoplados, independentes.

Esta estruturação de trabalho enxuto gera clareza, resultando em melhores estratégias de execução, com melhores configurações da cadeia de suprimentos e cronogramas mais assertivos (Howell-et-al, 2002).

Como resultado, temos melhores estratégias de execução, que são constantemente revistas, confiança da equipe na melhoria contínua e chances mais reais no cumprimento das metas.

O cronograma de fases é iniciado por aqueles que já possuem experiência, fornecendo um histórico e detalhamento inicial da atividade. Entretanto, para cada projeto e fluxo de trabalho existem novas condições de trabalho, resultando em diferentes produtividades. Essa é a importância da revisão constante das estratégias de trabalho.

A melhor maneira para produzir o cronograma de fases é reunir os especialistas e escreverem seus processos num cartão, colando-os em uma parede para a visualização de todos, que pode ser revisitada e revisada por toda a equipe a todo momento.

4. METODOLOGIA

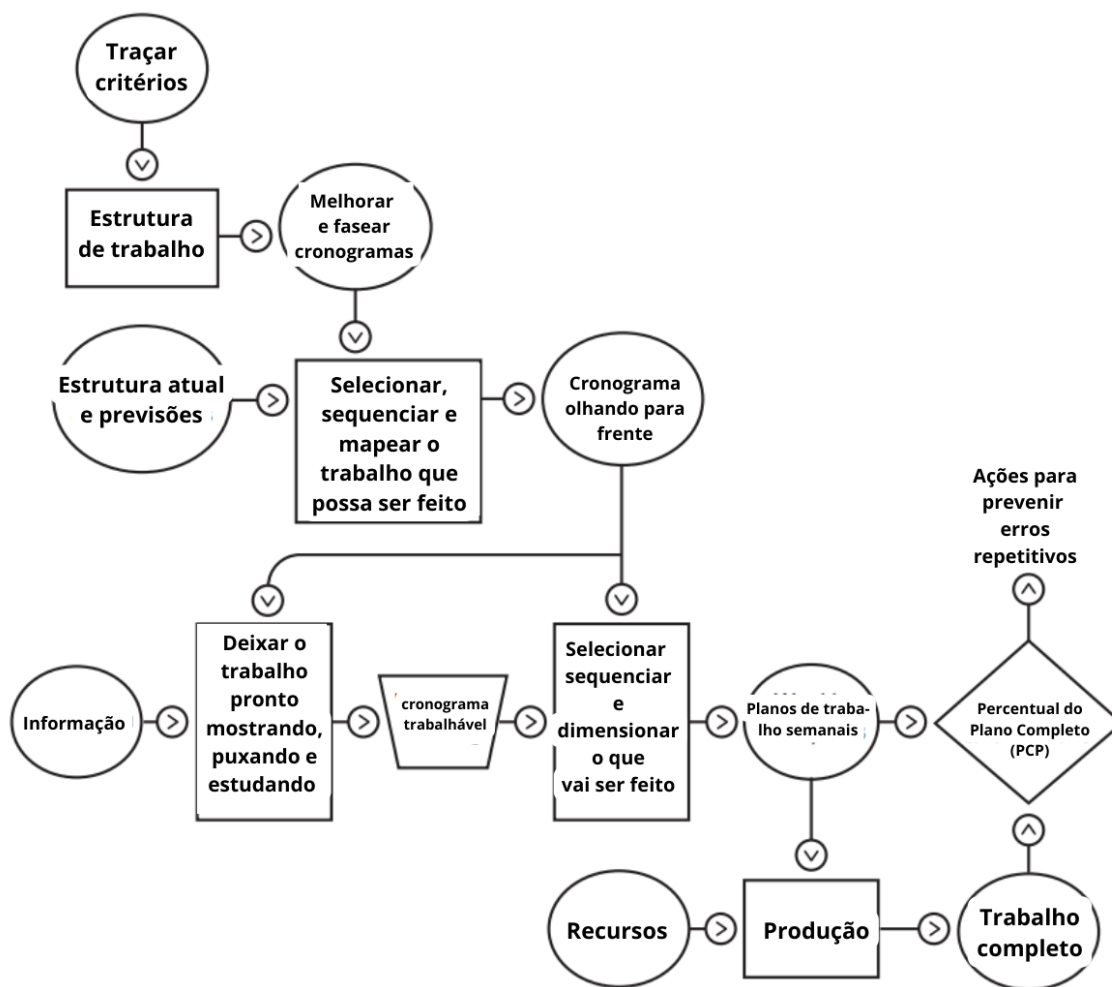
4.1. O ÚLTIMO PLANNER: CONTROLANDO A PRODUÇÃO

Planejar sem controlar não garante o cumprimento dos objetivos desejados ao início das tratativas contratuais. Sendo assim, a metodologia da construção enxuta sugere a implementação do Último Planner para o indivíduo ou grupo que está comprometido diretamente com a tarefa, como o engenheiro de campo ou encarregado da obra. Na aplicação desta técnica, a equipe se planeja sempre olhando para o futuro, se compromete com o planejamento e aprende no processo (Howell-et-al, 2002). Na Figura 8 encontra-se o modelo de Último Planner.

O planejamento olhando para frente determina a sequência, frequência e capacidade do fluxo de trabalho, dando clareza no trabalho e acumulando o trabalho pronto.

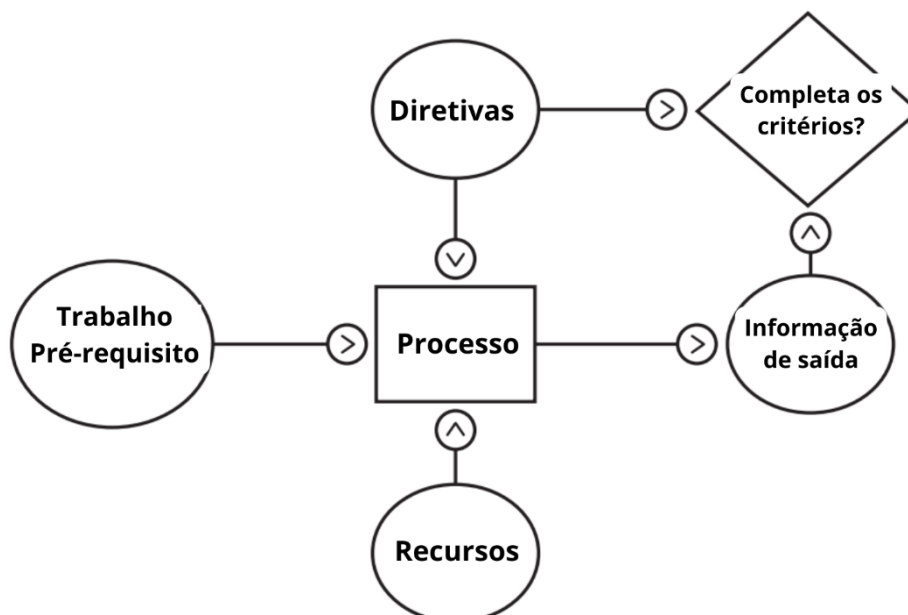
Para cada atividade proposta no Último Planner, existe uma Definição do Modelo de Atividade (DMA), Figura 9, que provê as categorias primárias de cada serviço a ser executado: recursos, trabalho de pré-requisito e diretivas (Howell-et-al, 2002).

Figura 8: Modelo de Último Planner.



Fonte: Traduzido de Howell-et-al, 2002.

Figura 9: Definição de Modelo de Atividade



Fonte: Traduzido de Howell-et-al, 2002.

Para a análise de restrições das atividades é necessário avaliar toda a programação para as próximas seis semanas (este tempo é arbitrário para cada atividade, pode ser maior ou menor, a definir pelo gestor).

Os itens de lead longo, marcos ou datas que não podem ser adiados ou adiantados, não devem ser esquecidos, pois agora o modelo de atividade é prático, saindo do campo do planejamento. Entretanto, os marcos podem e devem ser alterados de forma arbitrária conforme as restrições forem se tornando mais claras. A confiança na alteração da programação através do aparecimento das restrições se dá na habilidade e maturidade em resolvê-los da melhor forma possível de modo que não apareçam novamente (Howell-et-al, 2002).

O resultado disso é uma inércia inicial que, quando vencida, torna a atividade mais dinâmica em um ciclo de melhoria contínua do fluxo de trabalho.

O Último Planner considera critérios de qualidade através de definição, integridade, sequência, tamanho e aprendizado. O compromisso no planejamento é um compromisso com estes critérios de qualidade, blindando o processo de toda incerteza de resultado. Ou seja, quando temos clareza no que define se um trabalho foi bem feito ou não, não há dúvidas sobre o fim ou não de uma etapa da atividade, e a causa raiz pela falha do planejamento é facilmente identificada, evitando o problema no futuro (Howell-et-al, 2002).

Apesar de sugerir um planejamento para as seguintes seis semanas, o aprendizado contínuo só é estabelecido através de uma análise semanal sobre as atividades da semana anterior.

Se um compromisso não foi mantido, uma falha é registrada e, em seguida, analisada em sua raiz para identificar a restrição e eliminá-la. Não eliminar uma restrição resulta na falta de materiais, trabalhos pré-requisitos ou diretivas claras.

Independente da causa, monitoramento contínuo das razões para a falha de um plano irá ditar a efetividade das ações tomadas (Howell-et-al, 2002).

4.2. BENEFÍCIOS DO GERENCIAMENTO ENXUTO

Uma linha de produção enxuta é dedicada a reduzir a variabilidade e incerteza na execução do plano de projeto. Um ponto de partida é o reconhecimento de que toda essa incerteza é diretamente ligada com o modo como os projetos são gerenciados. Para isso, preparar as tarefas da melhor forma removendo as restrições é um jeito direto de eliminar do processo essa variabilidade.

Blindar o fluxo de trabalho é a melhor forma de garantir que um cronograma será cumprido, ao passo que o modelo do sistema de entrega de projeto enxuto nos traz clareza para tal.

No gerenciamento de projetos tradicional, a variação não está ligada ao processo de gerenciamento. Consequentemente, o balanço entre prazo e custo é revisitado e consertado durante a formulação da solução ao imprevisto.

No gerenciamento enxuto de projetos, ficou claro que a imprevisibilidade entra dentro do processo até o momento em que todas as restrições são retiradas ou previstas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A obra compreendeu 27 edifícios, cada um com 4 pavimentos e 4 apartamentos por pavimento. Os 27 prédios estavam divididos em três módulos de 9 prédios cada. No início, o empreendimento apresentava apenas dois edifícios e um pavimento concluído. Ao final, haviam sete prédios com dois pavimentos concluídos. Na Figura 10, exemplifica-se um destes prédios.

O bairro do empreendimento é habitado por moradores de classes baixas ou médias-baixas. Foi considerada uma inovação, atraindo futuras famílias de classe média.

Além disso, empresa firmou acordos comerciais com o banco, oferecendo financiamentos atraentes e incentivos do programa Minha Casa Minha Vida.

Figura 10: Foto de um dos blocos já concretados.



Fonte: Autoria Própria.

5.2. PROCESSO CONSTRUTIVO

5.2.1. FUNDAÇÃO

Através de uma análise técnica do solo, optou-se por uma união de estacas com vigas baldrame.

Inicialmente, após a locação do terreno pelo engenheiro topógrafo, marca-se o gabarito para referenciar os pontos onde haverá escavação das estacas, ver Figura 11. A marcação é realizada com a utilização de uma barrinha de ferro, que é utilizada para marcar os cortes da malha de aço usada na armação, e, em seguida, é adicionado cal.

Figura 11: Marcação das estacas.



Fonte: Autoria Própria.

Em seguida, com a máquina perfuratriz, como na Figura 12, as estacas foram cavadas. O acompanhamento deste processo é crucial para assegurar uma furação perfeita, reta e alinhada, através do uso de um fio de prumo. Após a escavação das estacas, a sua profundidade é medida imediatamente, e deve ter um erro de 15 ± 5 cm, mapeado e corrigido através do processo de apiloamento.

Figura 12: Escavação das estacas.



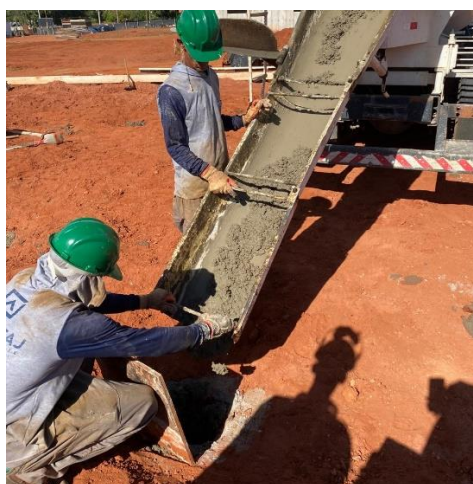
Fonte: Autoria Própria.

Antes do apiloamento, é jogada na vala uma mistura de cimento, areia e brita, que é proporcional ao erro da escavação. A máquina é usada para executar 20 golpes.

Com as estacas apiloadas, posicionam-se as armaduras, de profundidades variadas, com o uso de barras de ferro pré-fixadas e arames.

Tudo está preparado para a concretagem das estacas, feita com concreto usinado de resistência 25 MPa. O caminhão betoneira se posiciona próximo ao buraco escolhido e injeta o concreto. Em seguida, se joga areia sobre o concreto, como na Figura 13.

Figura 13: Concretagem das estacas.



Fonte: Autoria Própria.

Para a marcação do baldrame, é necessário o nivelamento do terreno. O processo de marcação para a escavação do baldrame é semelhante ao das estacas, utilizando o auxílio de linhas, cal e um dispositivo para a marcação retilínea.

A abertura das vigas baldrame são feitas com uma máquina de escavação, como na Figura 14, mas ainda é necessária a escavação manual para o ajuste fino das dimensões necessárias. As valas que receberão blocos são chapiscadas.

Figura 14: Escavação do baldrame.



Fonte: Autoria Própria.

A última etapa antes da concretagem do baldrame é a armação, que é feita pouco antes da concretagem. As armações são protegidas com uma lona plástica, para que o concreto em contato com o solo não fique com impurezas, garantindo seu fck.

A concretagem é feita injetando concreto usinado de fck 25 MPa com um caminhão bomba lança, registrado na Figura 15. O concreto não é autoadensável, sendo necessário, portanto, o uso de um dispositivo vibrador.

Após a concretagem, é necessário posicionar os arranques, conforme o projeto de armação. Esses arranques serão a sustentação e a referência para que as malhas da armação sejam posicionadas adequadamente.

Temos ainda a regularização de piso, onde o solo é preparado levando em conta uma camada de concreto usinado, desta vez de fck 15 MPa. Uma vez o concreto devidamente regularizado, aguarda-se um período de sete dias para realizar a marcação com os espaçadores de forma.

Figura 15: Concretagem do baldrame.



Fonte: Autoria Própria.

5.2.2. MARCAÇÃO DO PISO REGULARIZADO

A marcação do piso regularizado, como na Figura 17, através do uso de espaçadores gabarito circular, “bolachão”, é necessária para locar o edifício. Mesmo com um bom trabalho feito durante a etapa de execução do baldrame, é bem provável que o piso, agora já regularizado, não possua a exata dimensão prevista em planta.

Sendo assim, a marcação do piso vem para impedir a perpetuação destes erros, locando corretamente onde serão posicionadas armaduras, instalações e a fôrma das paredes.

Sempre sob consulta do projeto, e com auxílio de uma trena, as dimensões externas do baldrame são aferidas com precisão milimétrica. Em seguida, é feito o cálculo do erro bruto que é confrontado com a dimensão prevista em projeto.

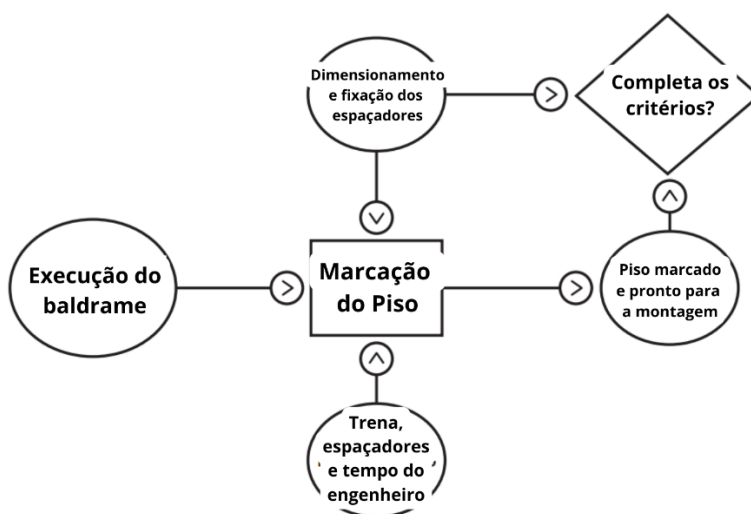
Por fim, a diferença é tirada nas duas extremidades para que o edifício seja distribuído igualmente sobre o baldrame, erguendo-se de forma centralizada.

Os espaçadores possuem a dimensão exata da espessura da parede a ser concretada, logo, com uma marcação bem feita, não há dificuldades na montagem.

O engenheiro posiciona, então, através de uma linha bem tensionada, um espaçador a cada 40 cm ou na existência de um canto.

O critério do DMA na Figura 16 a ser avaliado é o alinhamento correto dos espaçadores, a sua distribuição (a cada 40 cm ou nos cantos) e a conformidade com o projeto.

Figura 16: DMA da marcação do piso.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 17: Marcação do piso.



Fonte: Autoria Própria.

5.2.3. ARMAÇÃO DAS PAREDES

A armação das paredes inicia-se com a separação e corte das telas no tamanho correto, seguindo os passos do projeto de corte e dobra. Tal evento é importante para evitar o desperdício das telas de aço, elemento que compõe alta parte de gastos da obra.

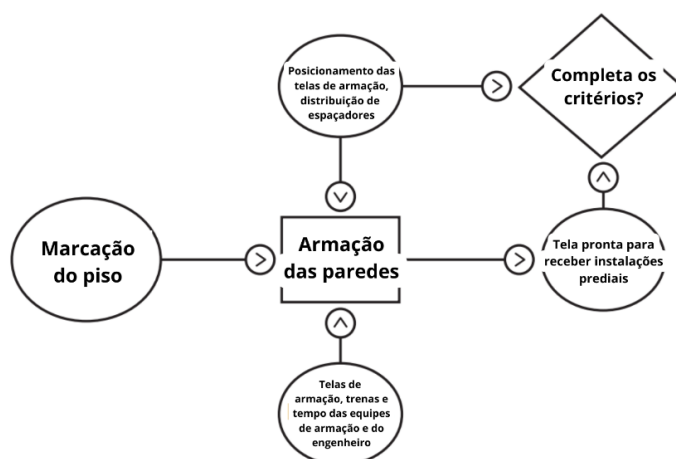
Os arranques, juntamente aos espaçadores, alocados anteriormente, são pré-requisitos para o posicionamento das armações. O mal posicionamento dos arranques

resulta na falta de clareza na etapa dos espaçadores, visto que são referências. Portanto, deverão ser feitos com o auxílio de um engenheiro, com o projeto em mãos.

Com os arranques e espaçadores posicionados, a armação é liberada e amarrada através de arames e encaixadas nos arranques, ver Figura 19. Neste processo, os espaçadores de tela são posicionados, necessários para garantir o cobrimento e uniformidade na distribuição dos esforços.

O critério de aprovação desta atividade, como no DMA da Figura 18, é a dupla verificação das quantidades de espaçadores e a correta distribuição das telas (sempre com o projeto em mãos).

Figura 18: DMA armação das paredes.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 19: DMA armação e instalações das paredes.



Fonte: Autoria Própria.

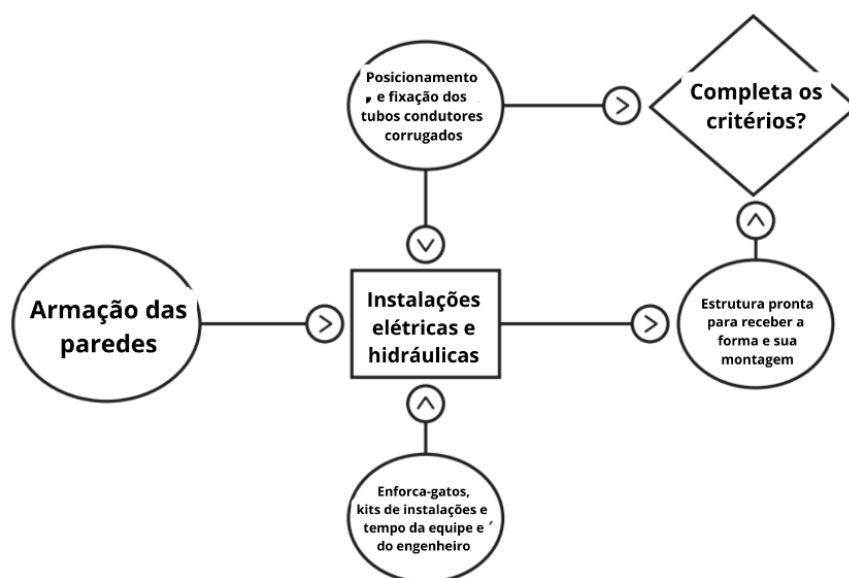
5.2.4. INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS DAS PAREDES

As instalações hidráulicas e elétricas são posicionadas segundo projeto existente e amarradas com o auxílio de abraçadeiras plásticas, popularmente conhecidas como “enforca-gatos”.

Assim como nas demais, por se tratar de instalações previamente embutidas na estrutura, é importante a garantia na qualidade dos materiais e verificação pelo corpo de engenharia.

O seu DMA foi mapeado e ilustrado na Figura 20.

Figura 20: DMA instalações elétricas e hidráulicas das paredes.



Fonte: Autoria Própria.

5.2.5. MONTAGEM DA FÔRMA

A partir dos espaçadores previamente alocados, a equipe de montagem das fôrmas inicia o processo de forma manual, colocando peça a peça. A junção entre duas placas é feita através de um pino e uma cunha. Em toda a área de placas que entrará em contato com o concreto, é necessário aplicar uma película de desmoldante com o um rolo.

Durante o processo é necessário que haja sinergia na equipe, visto o trabalho árduo e cansativo manual, bem como os riscos envolvidos. A equipe divide-se em duplas, cada uma responsável por um cômodo.

Com a montagem finalizada, é preciso que haja uma dupla conferência de pinos e cunhas. A primeira conferência é do líder da equipe, e a segunda, do engenheiro responsável. A ausência ou falta de aperto dos conjuntos de pinos e cunhas acarretará em uma abertura da fôrma no processo de concretagem, além de uma parede desaprumada e com barrigas futuramente.

Além dos pinos e cunhas, temos também os esquadros, alinhadores da parede e alinhadores de vãos.

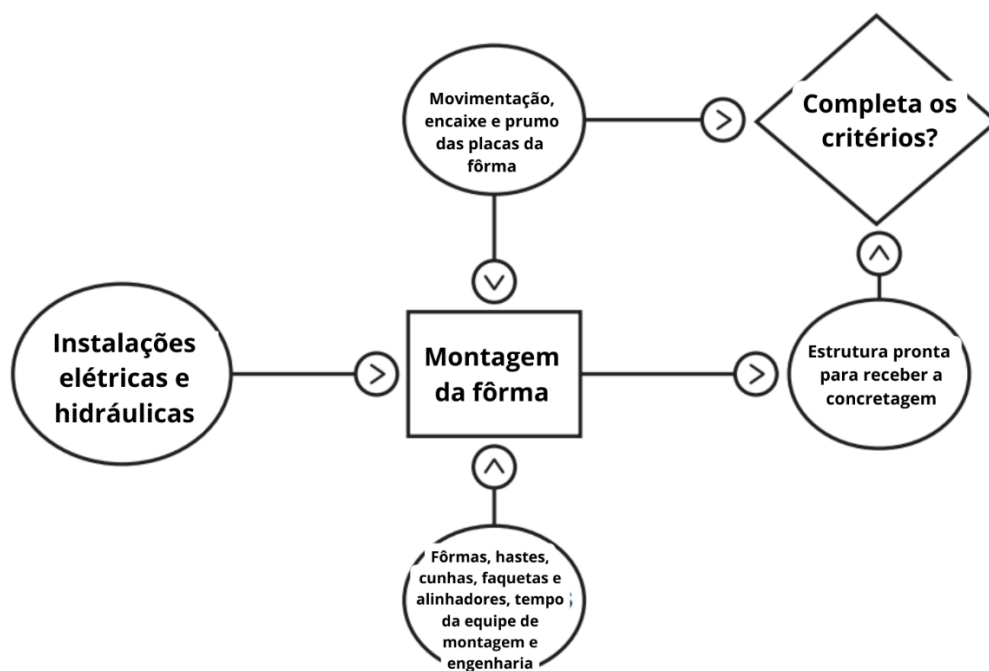
Os esquadros, como se deduz do nome, garantem a perpendicularidade das fôrmas, sendo presos por agulhas e chapoulas, que devem sempre estar justas.

Os alinhadores de parede garantem que as fôrmas se encaixem perfeitamente, logo, nivelam a parede, evitando barrigas. Já os alinhadores de vãos garantem o fechamento de plaquetas dos vãos das portas e janelas.

A última etapa de montagem é das lajes, nas quais apoiam escoras verticais para a sustentação até o tempo de cura necessário do concreto. O engenheiro, através da utilização de um nível a laser e uma trena, deve nivelar a laje, garantindo que em toda sua área esteja em nível.

O mapeamento do processo de montagem da fôrma está na Figura 21. Para exemplificar a execução da fôrma, ver Figura 22.

Figura 21: DMA montagem da fôrma.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 22: Montagem da fôrma.



Fonte: Autoria Própria.

5.2.6. ARMAÇÃO DAS LAJES

Durante o passo de montagem da fôrma, a equipe de armação trabalha deixando cortadas as telas.

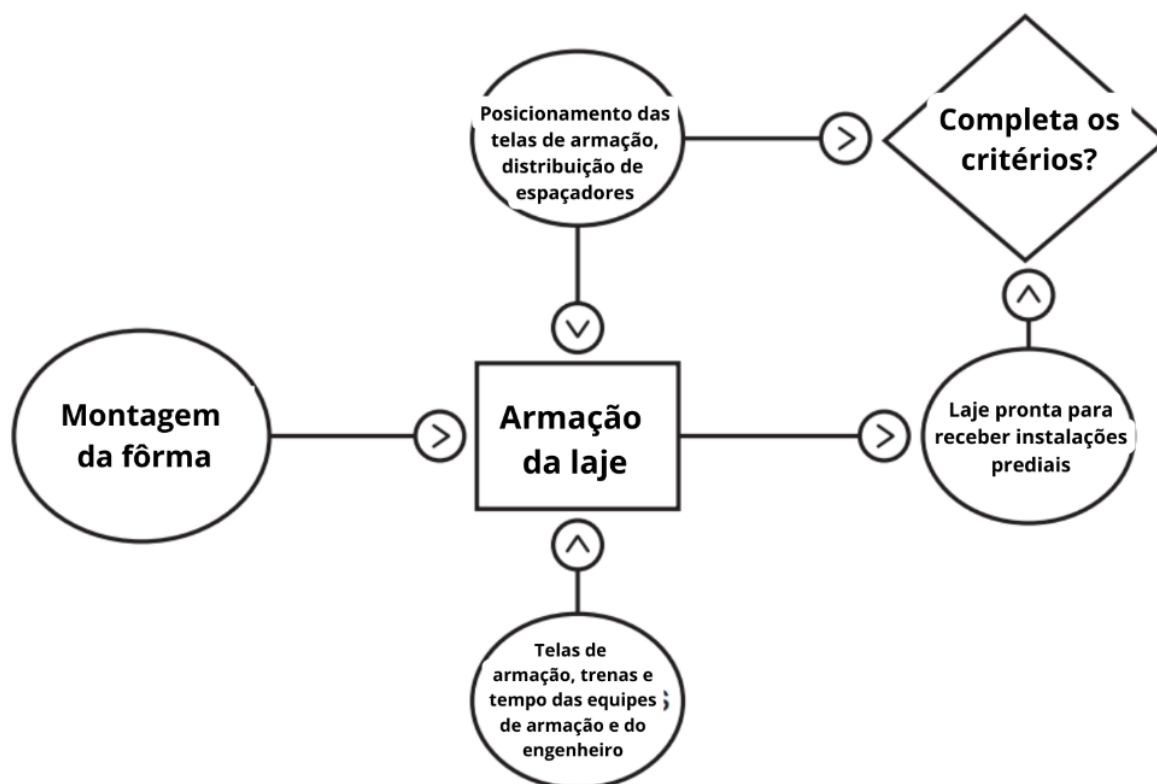
Após a fôrma pronta, os armadores retornam para a laje, colocando as telas conforme o projeto solicita.

As telas de armação devem estar em um bom estado de conservação, sem contato direto com o solo e se possível em um lugar coberto, como manda a norma. Além disso, devem haver espaçadores de tela a cada 50 cm de distância, evitando patologias futuras na desforma.

É importante a conferência do engenheiro ou mestre de obras para que confira se as fôrmas estão conforme o projeto ou se há alguma não conformidade.

A Figura 23 é a ilustração do mapeamento processual da *lean construction* em formato de DMA.

Figura 23: DMA armação de laje.



Fonte: Autoria Própria.

5.2.7. INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E ELÉTRICAS DAS LAJES

A partir das instalações feitas nas armações da parede, as instalações elétricas e hidráulicas das lajes são emendadas e instaladas, se tornando uma só.

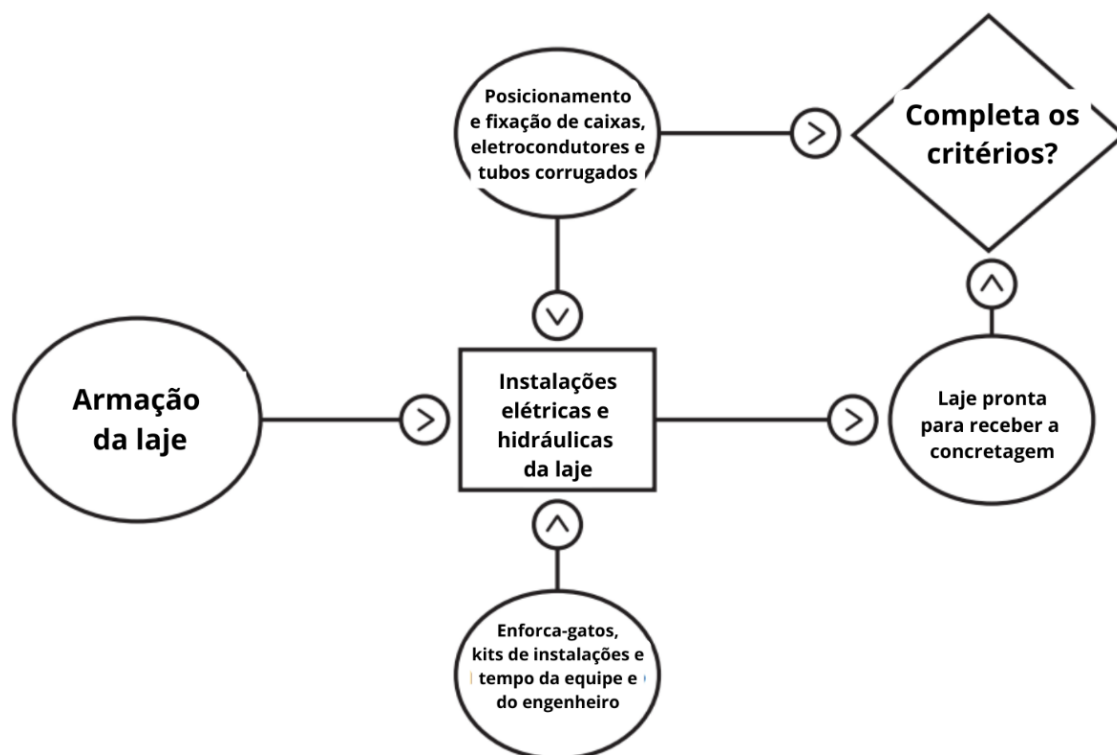
Os eletricitistas, através dos kits que já vêm do fornecedor conforme o solicitado, com tubos e caixas já na quantidade e medidas exatas, realizam a instalação conforme o projeto. O processo desta instalação está detalhado na Figura 24.

A fixação das instalações é feita com uma abraçadeira plástica, enforca-gato, que transpassa o tubo da instalação e a armadura. A correta fixação garante que, durante a concretagem, não haverá problemas.

Para ambas, a dupla conferência é crucial para atingir os resultados esperados.

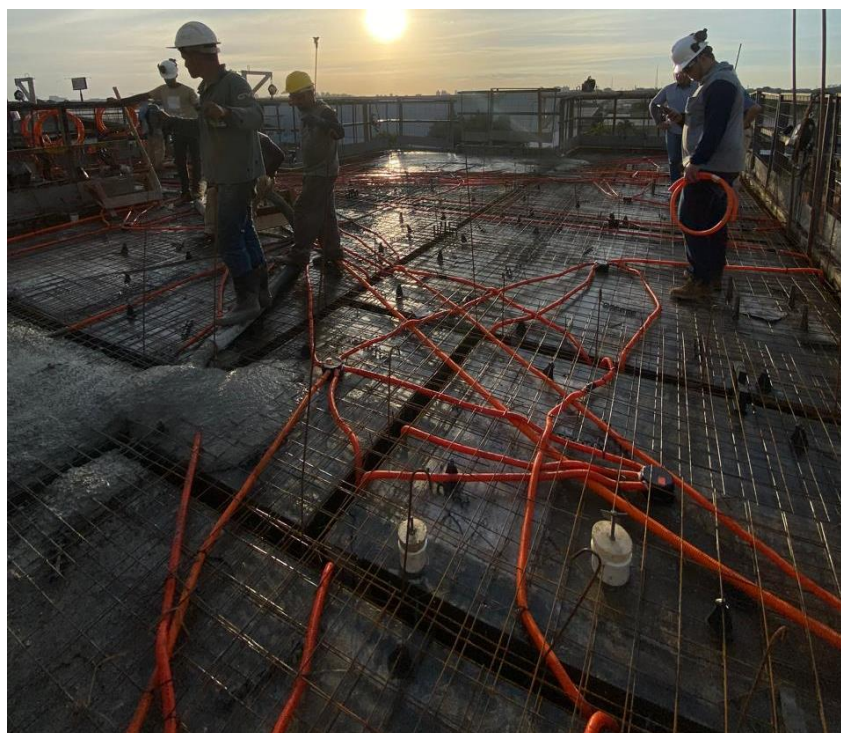
Na Figura 25, temos a armação das lajes, suas instalações elétricas e hidráulicas e o início da concretagem.

Figura 24: DMA instalações elétricas e hidráulicas da laje.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 25: Armação e instalações de laje.



Fonte: Autoria Própria.

5.2.8. CONCRETAGEM

Antes da chegada do concreto, a instalação da bomba estacionária, ou bomba mangote, é feita para garantir o correto lançamento do concreto.

Em seguida, com a chegada dos caminhões betoneira, o teste de abatimento do concreto, ou slump test, é realizado. Com a aprovação do composto, inicia-se o processo de mistura do aditivo.

A rotação de mistura do caminhão é aumentada, ao passo que, delicadamente, é adicionado o aditivo superplastificante que garantirá um concreto auto adensável. Para cada metro cúbico de concreto é necessário um minuto de mistura.

O último teste de qualidade do concreto é o flow test, no qual avalia-se a sua fluidez. É necessário ser criterioso neste passo, pois um flow test muito alto resultará em um concreto pouco resistente.

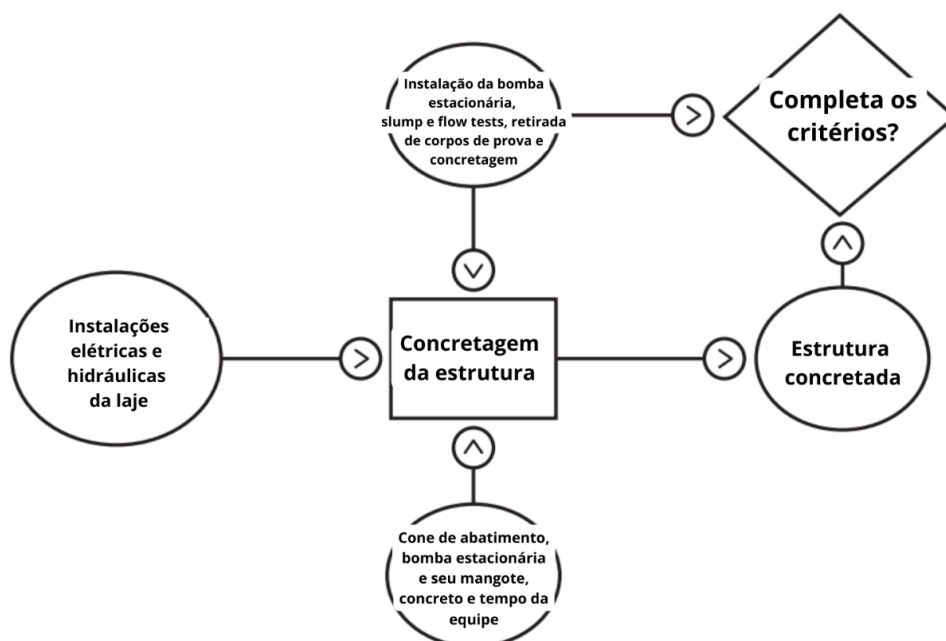
Corpos de prova são retirados, e o concreto está liberado para ser lançado.

Este procedimento é feito para todo caminhão que chega, realizando seu registro em uma planilha do controle de qualidade.

Caso a concretagem acabe próxima ao meio dia, em um dia ensolarado, é necessário que haja uma hidratação do concreto, feita através de uma mangueira, a fim de evitar fissuras, principalmente nas lajes.

Seu DMA se encontra na Figura 26.

Figura 26: DMA concretagem.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 27: Concretagem.



Fonte: Autoria Própria.

5.2.9. DESFORMA

O dia seguinte inicia-se com a utilização de parte dos corpos de prova para o ensaio de compressão. Para todo caminhão, um corpo de prova deve ser testado.

A resistência mínima do concreto, após 12 horas, deve ser de 3 MPa para que haja sustentação de desforma.

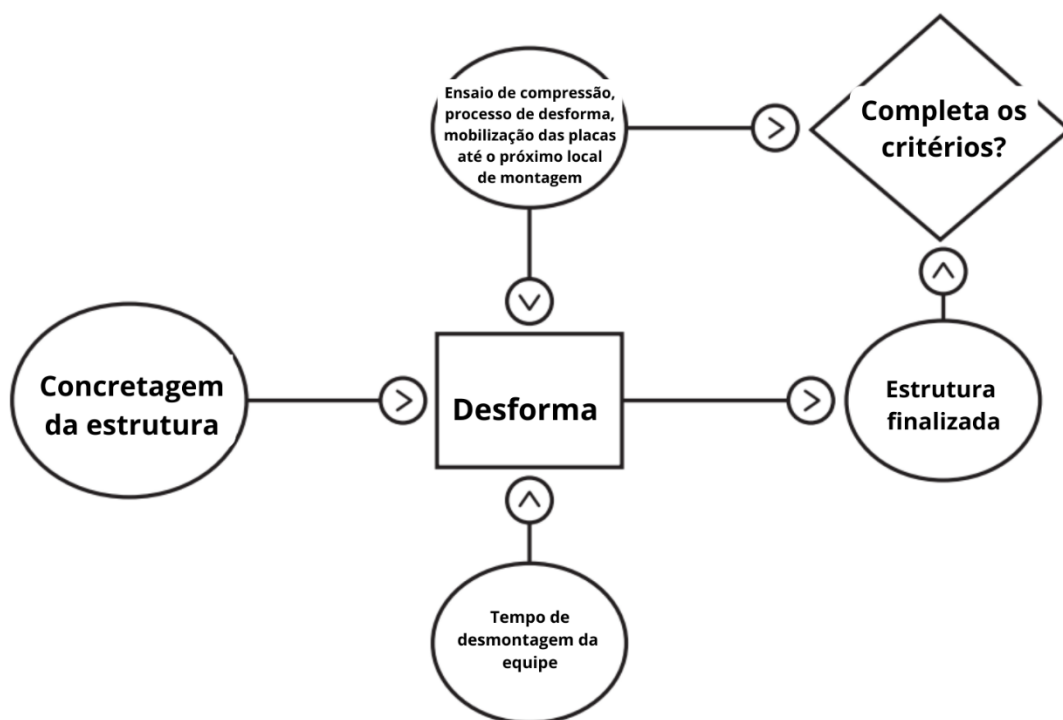
Caso a resistência seja satisfatória, os montadores começam o processo de desforma, desapertando os pinos e cunhas e toda a estrutura que foi montada no dia anterior.

Caso não atinja a resistência mínima, aguarda-se mais 1 hora para um novo ensaio. Se, após mais esta hora, não atinja a resistência mínima de 3 MPa, a fornecedora do concreto é notificada e os montadores são desautorizados a trabalhar, retornando no outro dia.

Ao passo em que desmontam, o outro integrante de sua dupla é responsável por levar até o próximo local e iniciar novamente todo o processo de montagem acima descrito.

A únicas estruturas que são deixadas na desforma são as escoras de laje, que permanecerão lá durante o período de 28 dias.

Figura 28: DMA desforma.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 29: Estrutura recém desformada.



Fonte: Autoria Própria.

5.3. APLICAÇÃO DO CONCEITO LEAN NO EMPREENDIMENTO

A aplicabilidade dos conceitos de construção enxuta em um empreendimento em paredes de concreto é clara e direta, visto que neste tipo construtivo a intenção desde o início é obter benefícios de produtividade e redução de desperdícios.

O primeiro passo prático foi determinar um início para o cronograma de antecipação de 5 semanas sugerido e seus devidos marcos.

A semana 1 foi marcada para observação e escolha das restrições que seriam trabalhadas.

Durante a semana 2, foram recolhidos os dados necessários para avaliar o impacto da eliminação destas restrições. Além disso, o plano de ação foi elaborado.

As semanas 3 e 4 foram as semanas trabalháveis, no qual foram executadas as ações de prevenção de desperdícios.

Concentrou-se, então, na obtenção de resultados a partir do processo construtivo, e não em alterações da cadeia de suprimentos.

Quadro 2: Cronograma que olha para frente para a eliminação de restrições.

SEMANAS	ATIVIDADE
1	Levantamento de desperdícios e restrições
2	Coleta de dados e elaboração do último planner
3	
4	Execução das ações do último planner e coleta de resultados
5	

Fonte: Autoria Própria.

5.3.1. SEMANA 1 - LEVANTAMENTO DE RESTRIÇÕES

A partir da fundação pronta, focou-se no levantamento de restrições das etapas de marcação do baldrame em diante.

Quadro 3: Restrições mapeadas em uma semana.

RESTRIÇÕES					
ATIVIDADE	EQUIPE RESPONSÁVEL	DURAÇÃO	PRÉ-REQUISITOS	RECURSOS	COMENTÁRIOS
Faltas	Todas	Diárias	-	Capital da empresa	Abaixa a moral do time, que trabalhará para cobrir o serviço do ausente
Horas do caminhão munck	Armadores	Horas	Corte de telas incompleto	Capital da empresa	
Atraso no fornecimento do concreto	Montadores	Horas	Instalações na laje concluídas	Capital da empresa	Horas extras da equipe
Baixa resistência do CP	Todas	Diárias	12 horas de cura e 3 Mpa	Capital da empresa, horas de trabalho	
Eletrotubo obstruído por concreto	Eletricistas	-	-	Capital da empresa, horas de trabalho	Necessário quebrar o concreto, gerando retrabalho e gastos com acabamento
Abertura da fôrma na concretagem	Montadores	Horas	Montagem da fôrma	Capital da empresa, horas de trabalho	Desperdício de insumo e retrabalho com acabamento
Desautorização de montagem	Todas	Diárias	-	Capital da empresa, horas de trabalho	Chuva intensa, segurança do trabalho desautorizou continuação do serviço

Fonte: Autoria Própria.

Então, a partir das restrições levantadas, focou-se nas restrições de Horas do Caminhão Munck paradas, dos quais havia mais controle do processo.

5.3.2. SEMANA 2 E 3 – ELABORAÇÃO DE UM ÚLTIMO PLANNER PARA ELIMINAÇÃO DE RESTRIÇÃO

Para a elaboração de uma solução aos métodos da construção enxuta, seria necessário desenvolver um último planner à restrição escolhida. Para isso, iniciou-se a coleta de dados e porquês mais sólidos a respeito dos recursos gastos desnecessariamente com horas paradas de munck.

O método de cobrança do munck era por horas trabalhadas, e, ao sair de sua empresa, já se iniciava a contagem de horas. Dentro da obra, trabalhava os primeiros 30 minutos subindo a tela para armação de paredes. Em seguida, aguardava a equipe de armação finalizar sua atividade nas paredes para buscar a tela de armação das lajes. Por vezes, o corte destas telas não estava preparado, gerando mais horas de caminhão munck parado.

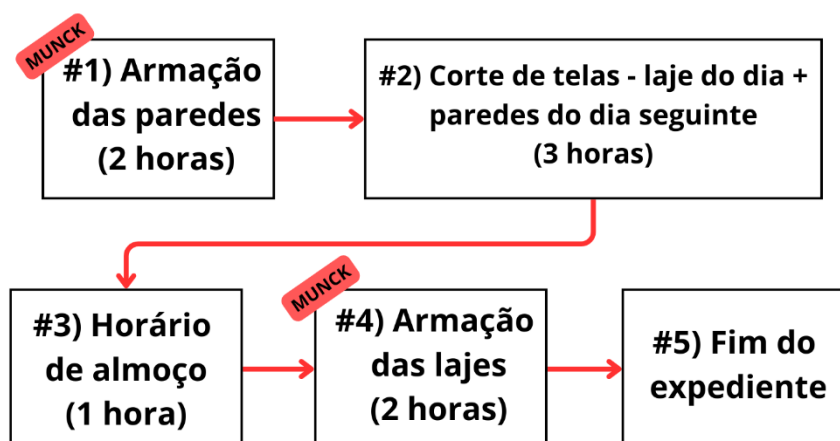
Quadro 4: Horas registradas de trabalho do caminhão munck antes da alteração da rotina.

HORAS TRABALHADAS MUNCK			
SEMANA 2		SEMANA 3	
DIA	HORAS (h)	DIA	HORAS (h)
1	7	1	6
2	7,5	2	6,5
3	6,5	3	7
4	3,5	4	7
5	7	5	5,5
6	5	6	-

Fonte: Autoria Própria.

O próximo passo se tornava compreender, então, a rotina dos armadores para reprogramar suas atividades e avaliar quando seria possível puxar uma atividade.

Figura 30: Rotina da equipe de armação.



Fonte: Autoria Própria.

Entretanto, como pode-se observar no Quadro 4, em um dia que o concreto não atingira a resistência, não haveria montagem nem armação de paredes ou lajes, ou cortes de tela.

Por se tratar de uma imprevisibilidade no fornecimento do suprimento, a primeira mudança proposta é a de puxar a atividade de corte de telas, não autorizando a liberação dos armadores em dias que não haveria montagem.

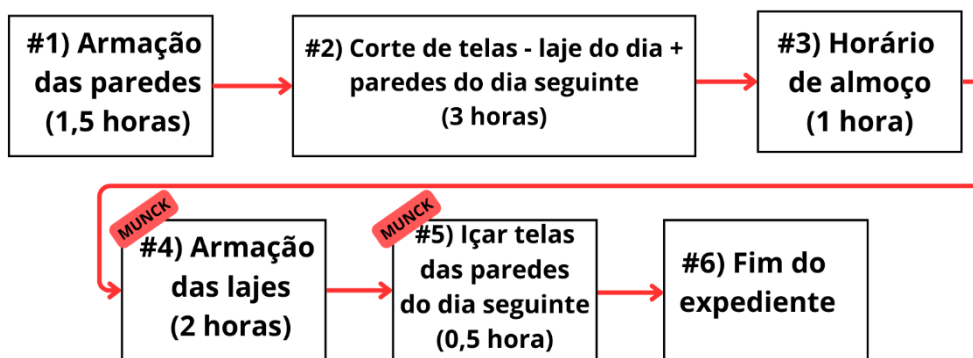
Nos dias em que não havia atividade de montagem por forças maiores, o caminhão munck se deslocava até a obra da mesma forma, pois não havia como comunicá-lo antes do primeiro horário do dia. Ou seja, o tempo de mobilização era

contado, mesmo sem o uso do veículo, como observado no dia 6 da semana 3, registrado no Quadro 4.

Além disso, a segunda mudança proposta é a de puxar o içamento das telas de armação de paredes para o final do dia anterior, desta forma, aproximam-se as duas atividades do caminhão munck, reduzindo a quantidade de horas trabalhadas.

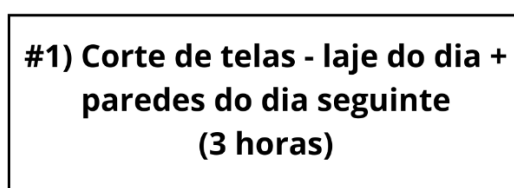
Uma segunda consequência positiva gerada com essa aproximação das atividades foi a de previsão de uso do munck, havia tempo nas horas iniciais do dia para cancelar o pedido do veículo. Desta forma, gastos desnecessários de mobilização não aconteceriam.

Figura 31: Alteração proposta da rotina de trabalho dos armadores.



Fonte: Autoria Própria.

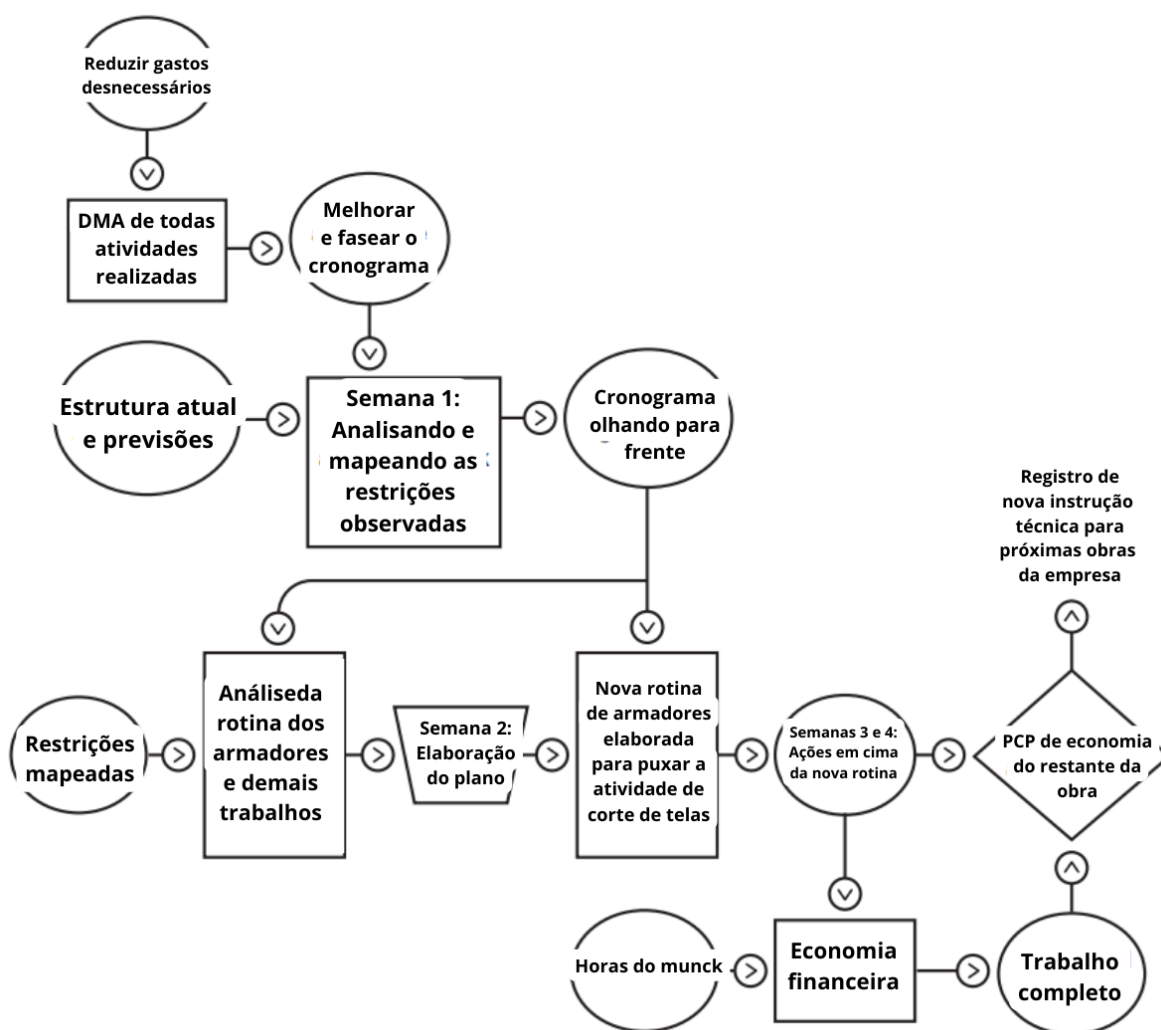
Figura 32: Alteração proposta da rotina de trabalho dos armadores.



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, as diretrizes estavam definidas para o último planner de eliminação desta restrição.

Figura 33: Último Planner para a eliminação da restrição apresentada.



Fonte: Autoria Própria.

4.3.3. SEMANAS 3 E 4 – APLICAÇÃO DO PLANO ÚLTIMO

Nas semanas de aplicação da nova rotina dos armadores, houve resistência da equipe em trabalhar nos dias em que não houve montagem, visto que já havia um comportamento pré-estabelecido.

Entretanto, os horários trabalhados registrados para o munck com a nova rotina de hábitos utilizada reduziu significativamente, estando registrados no Quadro 5.

Quadro 5: Horas registradas de trabalho do caminhão munck após a alteração da rotina.

HORAS TRABALHADAS MUNCK			
SEMANA 4		SEMANA 5	
DIA	HORAS (h)	DIA	HORAS (h)
1	4,5	1	-
2	5	2	5
3	-	3	5
4	4,5	4	4,5
5	4	5	4,5
6	5	6	-

Fonte: Autoria Própria.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada pavimento de edifício é concretado em 2 dias, pois é dividido em lados A e B. Como um bloco possui 4 pavimentos, para que a estrutura de um bloco do empreendimento seja concluída, portanto, são necessários 8 dias de concretagem. Ou seja, 8 dias de trabalho de munck.

Ao final da semana 3, no qual constatou o excesso desnecessário de horas trabalhadas provindas do caminhão munck, o avanço da obra era de 4 blocos concretados e mais 5 etapas.

O empreendimento completo é de 27 blocos, ou edifícios. Sendo assim, são necessários 216 dias trabalhados de munck. Portanto, no dia de início da mudança de rotina dos armadores, haviam acontecido 37 concretagens e faltavam 179.

Contados somente os dias trabalhados nas semanas 2 e 3, tem-se uma média de 6,2 horas de utilização do caminhão munck.

Já para as semanas 4 e 5, a média de utilização do munck foi de 4,7 horas.

Em um cenário que não houvesse alteração da rotina de trabalho dos armadores, a quantidade total de horas gastas com munck para a execução da obra seria $h_{t1} = 1339,2 h$. Ao passo que, no cenário novo, são $h_{t2} = [(6,2 * 37) + (4,7 * 179)] = 1070,7 h$.

Ou seja, o Percentual de Plano Completo (PCP) neste Último Planner refere-se ao percentual de economia gerado, sendo de:

$$PCP = \frac{h_{t2}}{h_{t1}} * 100 = 79,95\%$$

Esta redução é ainda mais significativa se confrontada com números brutos no pagamento destas horas.

Quadro 6: Simulação da eliminação do desperdício financeiro bruto.

VALOR POR HORA	Ht1	Ht2	DIFERENÇA
R\$ 100,00	R\$ 133.920,00	R\$ 107.070,00	R\$ 26.850,00
R\$ 150,00	R\$ 200.880,00	R\$ 160.605,00	R\$ 40.275,00
R\$ 200,00	R\$ 267.840,00	R\$ 214.140,00	R\$ 53.700,00
R\$ 250,00	R\$ 334.800,00	R\$ 267.675,00	R\$ 67.125,00
R\$ 300,00	R\$ 401.760,00	R\$ 321.210,00	R\$ 80.550,00
R\$ 350,00	R\$ 468.720,00	R\$ 374.745,00	R\$ 93.975,00
R\$ 400,00	R\$ 535.680,00	R\$ 428.280,00	R\$ 107.400,00
R\$ 450,00	R\$ 602.640,00	R\$ 481.815,00	R\$ 120.825,00
R\$ 500,00	R\$ 669.600,00	R\$ 535.350,00	R\$ 134.250,00

Fonte: Autoria Própria.

O resultado da aplicação dos métodos da construção enxutas em somente um processo gerou uma redução de desperdício daquele fluxo de trabalho em 20,05%, sendo, portanto, satisfatórios e coerente com seu propósito. A construção enxuta, então, sai da teoria e se torna prática.

7. CONCLUSÃO

A aplicabilidade das teses da construção enxuta foi eficaz no sistema construtivo de paredes de concreto, em que há um fluxo de trabalho claro e diminuição, mesmo que pouca, das incertezas.

Em uma obra de 27 edifícios, a análise de restrições em sua fase inicial seria de grande valia para melhoria do resultado final como um todo. Além disso, para uma empresa em ascensão, esta melhoria refletiria numa aplicação direta em seus futuros empreendimentos, obtendo resultados exponenciais.

O interesse pela metodologia de construção enxuta para a análise do fluxo de trabalho se explica pela alta sinergia com o sistema construtivo de paredes de concreto. Por isso, a aplicabilidade das ferramentas enxutas foi direta e clara.

Através de um único processo que foi acompanhado mais de perto, um impacto positivo nos recursos financeiros da empresa foi alcançado. É válido, portanto, que a gestão de qualidade e corpo técnico de engenharia aprendam as teorias da construção enxuta para viabilizar sua aplicação em outras frentes de trabalho.

O primeiro objetivo, de mapeamento das atividades e divisão em processos, foi atingido ao aplicarmos a Definição dos Modelos de Atividade (DAM). O DAM forneceu clareza de atividade pré-requisito, separação e preparação de insumos necessários e o resultado atingido por cada atividade.

O segundo objetivo, de obtenção de algum resultado prático e de relevância através da aplicação dos conceitos do lean construction, também foi atingido. Este único resultado obtido reduziu 20,05% do gasto provindo de terceirização de máquinas, sendo muito satisfatório.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL BALKHY, W.; SWEIS, R.; LAFHAJ, Z. Barriers to adopting lean construction in the construction industry—the case of Jordan. *Buildings*, [S.l.], v. 11, n. 6, p. 222, 2021. DOI: 10.3390/buildings11060222.

ANDRADE, V. H. A.; COUTO, A. B. P. Sistema construtivo em paredes de concreto em obras residenciais – Estudo de caso. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. 4. ed. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – 1. ed. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118:2023 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7481:2023 - Tela de aço soldada nervurada para armadura de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

BERTELSEN, S.; KOSKELA, L. Construction beyond lean: a new understanding of construction management. Apresentado na 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Elsinore, Dinamarca, 2004.

DE VALENCE, G.; BEST, R. Design and Construction: building in value. 2002, Elsevier Science Ltd. All rights reserved.

FONSECA JR., A. O que é o sistema construtivo de parede de concreto. *AECweb Academy*, 2024. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/academy/aec-responde/o-que-e-o-sistema-construtivo-de-parede-de-concreto/23892>. Acesso em: nov. 2024.

HOWELL, G. A.; KOSKELA, L. Reforming project management: the role of lean construction. [Ano desconhecido].

IBGE. Panorama de São José do Rio Preto. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-jose-do-rio-preto/panorama>. Acesso em: nov. 2024.

JÚNIOR, A. S. B. Bombeamento de concreto autoadensável em altura, 2022. Disponível em https://nucleoparededeconcreto.com.br/wp-content/uploads/2022/08/Artigo-ABESC_bombeamento-de-concreto_AGO22-rev.2.pdf. Acesso em junho de 2024.

KOSKELA, L. An exploration towards a production theory and its application to construction. Espoo 2000. Technical Research Centre of Finland, VTT Publications. 2002.