

**UTILIZAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO NA PRODUÇÃO DE FACHADAS DE
EDIFÍCIOS COM PLACAS FIXADAS POR INSERTOS METÁLICOS**

LETÍCIA COSTA FARIAS MARQUES

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

BRASÍLIA / DF

MAIO - 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**UTILIZAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO NA PRODUÇÃO DE
FACHADAS DE EDIFÍCIOS COM PLACAS FIXADAS POR INSERTOS
METÁLICOS**

LETÍCIA COSTA FARIAS MARQUES

ORIENTADOR: ANDRÉ LUIZ AQUERE DE CERQUEIRA E SOUZA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA / DF: MAIO - 2022
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**UTILIZAÇÃO DA LINHA DE BALANÇO NA PRODUÇÃO DE FACHADAS
DE EDIFÍCIOS COM PLACAS FIXADAS POR INSERTOS METÁLICOS**

LETÍCIA COSTA FARIAS MARQUES

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

Prof. André Luiz Aquere de Cerqueira e Souza, *PhD* (UnB)
(Orientador)

Prof. Cláudia Márcia Coutinho Gurjão, *DSc* (UnB)
(Examinadora interna)

Talita Dal’Bosco Re, *MSc* (UMinho)
(Examinadora externa)

BRASÍLIA/DF, 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

MARQUES, LETÍCIA COSTA FARIAS

Utilização da Linha de Balanço na Produção de Fachadas de Edifícios com Placas Fixadas por Insetos Metálicos [Distrito Federal] 2022.

xii, 76 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2022)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|------------------------|------------------------------------|
| 1. Construção Enxuta | 2. Princípios da construção enxuta |
| 3. Ferramentas Enxutas | 4. Sistema de fachadas |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (Bacharel) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARQUES, L.C.F. (2022). Utilização da Linha de Balanço na Produção de Fachadas de Edifícios com Placas Fixadas por Insetos Metálicos. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 88 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Letícia Costa Farias Marques

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Utilização da Linha de Balanço na Produção de Fachadas de Edifícios com Placas Fixadas por Insetos Metálicos.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil / 2022

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Letícia Costa Farias Marques
Condomínio Solar de Brasília, Qd 1, Cj 12, Cs 7 – Jardim Botânico DF
CEP: 71.680-349 – Jardim Botânico/DF – Brasil
email: letcfmarques@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à minha mãe, Ana Elisa, ao meu pai, Domingos Savio, e ao meu irmão, Fábio, que nunca mediram esforços para me proporcionar uma caminhada digna. A eles devo minha vida e todas as oportunidades que nela tive e que espero um dia poder lhes retribuir. Agradeço imensamente todos os conselhos, preocupações e ajudas prestadas durante anos de faculdade que foram essenciais em toda minha caminhada.

Agradeço também ao meu namorado, Guilherme, pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis. Sua presença com certeza mudou meu modo de enxergar os percalços da vida.

Agradeço a todos da empresa em que os dados do trabalho foram coletados, pelo fornecimento de materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa. Agradeço especialmente aos meus colegas de trabalho por toda ajuda e apoio durante o período acadêmico que tornaram mais leves os momentos de trabalho.

Ao meu orientador, André Luiz, por todo apoio e paciência ao longo da elaboração do meu projeto final. Também gostaria de dedicar um agradecimento especial à instituição de pesquisa da Universidade de Brasília por proporcionar com excelência todas as possibilidades de execução de um trabalho científico.

Agradeço ao engenheiro Gustavo Bandeira, que esteve presente no desenvolvimento da pesquisa e me auxiliou nos direcionamentos a serem tomados dentro da empresa.

Por fim agradeço as examinadoras, Cláudia Gurjão e Talita Dal’Bosco, que se dispuseram a compor a banca examinadora, pela disponibilidade de tempo e dedicação para avaliar o projeto.

RESUMO

A indústria da construção civil está em um momento de transição com as empresas sofrendo crescentes pressões do mercado em busca de menores custos, melhorias em qualidade e flexibilidade no atendimento das exigências dos clientes. Por esses motivos, as organizações têm procurado investir na melhoria de seus processos de produção. Em um contexto de busca de melhorias contínuas, surge o *Lean Construction*, ou Construção Enxuta, modelo de gerenciamento para a construção civil como adaptação do Sistema Toyota de Produção, que busca a eliminação total do desperdício e identificação de valor para as atividades executadas. A execução da fachada de um edifício é um dos mais relevantes sistemas que envolvem a execução de uma obra, visto que ela é responsável pelas condições de habitabilidade e estética da edificação, além de ser um processo crítico no planejamento. Pelos custos de execução e de manutenção da fachada serem expressivos comparado a outros subsistemas, faz-se necessário o estudo de métodos que otimizem os processos de construção de fachadas embasados na metodologia enxuta. Este estudo de caso, com base em obras em Brasília, foi dividido em duas etapas: 1) uma análise sistemática da principal metodologia de execução de fachadas em edifícios em uma construtora em Brasília que executa seus revestimentos majoritariamente com placas de granito fixadas por insertos metálicos; e 2) uma proposta de melhoria no planejamento da execução da fachada de um edifício da construtora com base na metodologia *lean* e aplicação do *takt time*. Com a aplicação de ferramentas e princípio *lean*, como a redução no tamanho de lotes, a redefinição de atividades e produção em fluxo contínuo com base no *takt time*, pode-se gerar uma Linha de Balanço das atividades executadas de forma cadenciada e sequencial, obtendo-se uma redução de 26% nas horas trabalhadas e de 25,17% no *lead time* da fachada.

Palavras-chave: *Lean Construction*, Construção Enxuta, Sistema Toyota de Produção, Fachadas, Insertos Metálicos, Desperdícios *Lean*, Linha de Balanço, *Takt Time*.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivos gerais	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	5
2.2 PENSAMENTO ENXUTO (<i>LEAN</i>)	6
2.3 PRINCÍPIOS <i>LEAN</i>	7
2.3.1 Princípios <i>lean</i> na Construção Enxuta	9
2.4 DESPERDÍCIOS SEGUNDO <i>LEAN</i>	10
2.5 FERRAMENTAS LEAN	12
2.5.1 <i>Last Planner System</i> (LPS)	12
2.5.2 Mapa de Fluxo de Valor (MFV)	13
2.5.3 Análise Multimomento.....	16
2.5.4 Diagrama de Espaguete.....	17
2.5.5 Linha de balanço	18
2.5.6 <i>Takt Time</i>	21
2.6 FACHADAS	28
2.6.1 Execução de fachada em granito com insertos.....	29
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA.....	37

3.1	METODOLOGIA	37
CAPÍTULO 4: RESULTADOS		40
4.1	CONSTRUTORA	40
4.1.1	Contextualização da construtora	40
4.1.2	Contextualização das obras escolhidas	40
4.2	RESULTADOS DO PROJETO	42
4.2.1	Método de execução da fachada pela incorporadora na primeira obra	43
4.2.2	Análise da Linha de Balanço da segunda obra.....	48
4.2.3	Estudo de caso: Proposta de melhoria da Linha de Balanço.....	52
4.2.4	Considerações dos Resultados Obtidos Com Análise Sistemática da Primeira Obra.....	61
4.2.5	Considerações feitas com a Reprogramação “R02”.....	63
CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO E PROPOSTA DE PESQUISAS FUTURAS.....		67
5.1	CONCLUSÃO SOBRE A PROPOSTA DA PESQUISA	67
5.2	RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		70
APÊNDICE A – LINHA DE BALANÇO “R02”		74
ANEXO A – LINHA DE BALANÇO INICIAL “R00”		75
ANEXO B – LINHA DE BALANÇO “R01” DA PRIMEIRA REPROGRAMAÇÃO ...		76

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1 – Categorização das atividades segundo criação de valor (FAGUNDES et al. 2018)	16
Tabela 2 – Divisão de Lotes e Serviços na Primeira Linha de Balanço R00. (Fonte: Autora)	49
Tabela 3 – Divisão de Lotes e Serviços na Segunda Linha de Balanço - R01 (Fonte: Autora)	51
Tabela 4 – Divisão de Lotes e Serviços na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora) .	54
Tabela 5 – Definição dos quantitativos dos lotes na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora)	55
Tabela 6 - Definição das equipes mínimas na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora)	56
Tabela 7 - Duração das atividades com equipes mínimas na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora).....	56
Tabela 8 - Duração das atividades na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora).....	57
Tabela 9 – Identificação de cores das atividades na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora)	58
Tabela 10 - Relação dos problemas identificados no trabalho e desperdícios propostos por Taiichi Ohno.....	62
Tabela 11 – Duração das atividades das Linhas de Balanço analisadas no trabalho (Fonte: Autora)	65
Tabela 12 – Durações das Linhas de Balanço R01 e R02 (Fonte: Autora).....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1 – Quadro resumo referente aos níveis de planejamento (JEHA e CARVALHO, 2016)	13
Figura 2 - Etapas do mapeamento do fluxo de valor (Rother & Shook, 2003).....	14
Figura 3 – Exemplo de Mapa de Fluxo de Valor (VIEIRA, 2006).....	15
Figura 4 – Exemplo de Diagrama Espaguete (QUETZ, 2015)	18
Figura 5 - Exemplo de Linha de Balanço (O que é a Linha de Balanço. Prevision, 2020. Disponível em: < https://www.prevision.com.br/blog/linha-de-balanco-o-que-e/ >. Acesso em: 30 de outubro de 2021).....	19
Figura 6 – Fluxograma de aplicações do método da linha de balanço (MAZIERO, 1990 Adaptado).....	20
Figura 7 – Análise dos tempos de ciclo comparado com o <i>takt time</i> (OLIVEIRA, 2018)	22
Figura 8 – Exemplo de sentido construtivo proposto por Oliveira (2018).....	24
Figura 9 – Exemplo de duração de atividades em 1 lote (OLIVEIRA, 2018).	27
Figura 10 - Andaime fachadeiro. (Fonte: Acervo pessoal)	30
Figura 11 - Locais de fixação do inserto metálico nas placas de rocha, sendo (a) fixação pelas laterais e (b) fixação pelas partes superior e inferior. (MOREIRAS, 2005)	30
Figura 12 - Furadeira para granito. (Furadeira Dorvo FD2 de borda. Eucassel, 2021. Disponível em: < https://www.eucassel.com.br/produto/furadeira-dorvo-fd2-de-borda/ >. Acesso em: 15 de outubro de 2021)	31
Figura 13 - Execução de “coxins” na fachada de um edifício residencial (Fonte: Acervo pessoal).....	32
Figura 14 - Chumbador mecânico (Fonte: Autora).....	33
Figura 15 - Posicionamento de insertos (ABNT NBR 15846:2010)	34
Figura 16 - Insertos de pino simples (LS), pino duplo (LD), pino de transição (LT), chapa em ângulo (LG) e gancho de pino (GP) na sequência. (Fonte: Acervo Pessoal).....	35
Figura 17 - Fluxograma de trabalho (Fonte: Autora).....	39

Figura 18 - Vista da fachada da edificação em que foram feitas as primeiras análises do trabalho. (Fonte: Incorporadora)	41
Figura 19 - Vista da fachada da edificação em que foram feitas as segundas análises do trabalho. (Fonte: Incorporadora)	42
Figura 20 - Região na obra de armazenamento de granito e mesa de furação. (Fonte: Acervo pessoal).....	44
Figura 21 - Exemplo de furo realizado nas peças de granito na mesa de furação. (Fonte: Acervo Pessoal).....	44
Figura 22 - Carrinho utilizado para transporte de peças de granito nos pavimentos. (Fonte: Acervo pessoal)	45
Figura 23 - Desmonte do pallet de granitos e transporte unitário de peças para a cremalheira. (Fonte: Acervo Pessoal)	45
Figura 24 - Área de descarga dos granitos no pavimento. (Fonte: Acervo Pessoal).....	46
Figura 25 - Corte da peça de granito no interior da edificação. (Fonte: Acervo pessoal).....	47
Figura 26 - Apoio da peça de granito no contramarco. (Fonte: Acervo pessoal)	48
Figura 27 – Divisão Inicial dos Lotes – R00 (Fonte: Autora).....	48
Figura 28 – Primeira Linha de Balanço da Fachada no <i>software Prevision</i> utilizado pela incorporadora. (Fonte: Incorporadora).....	49
Figura 29 – Divisão dos Lotes – R01 (Fonte: Autora).....	50
Figura 30 – Segunda Linha de Balanço no <i>software Prevision</i> utilizado pela incorporadora. (Fonte: Incorporadora)	52
Figura 31 – Divisão dos Lotes R02 (Fonte: Autora).....	53
Figura 32 – Sentido construtivo proposto para a reprogramação R02 (Fonte: Autora).....	53
Figura 33 – Sequência de atividades (Fonte: Autora)	54
Figura 34 – Tempo da equipe mínima para execução de 1 lote (Fonte: Autora).....	57
Figura 35 – Equipes ajustadas ao <i>takt time</i> (Fonte: Autora)	58
Figura 36 – Linha de Balanço da Reprogramação R02 (Fonte: Autora)	60
Figura 37 – Linha de Balanço dos 27 dias iniciais da Reprogramação “R01”. (Fonte: Autora)	63
Figura 38 – Linha de Balanço dos 27 dias finais da Reprogramação R01 (Fonte: Autora).....	64
Figura 39 – Linha de Balanço dos 27 dias finais da Reprogramação R02 (Fonte: Autora).....	64

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMECLATURAS E ABREVIACÕES

Símbolo	Significado
JIT	<i>Just in Time;</i>
STP	Sistema Toyota de Produção;
LPS	<i>Last Planner System;</i>
LOB	<i>Line of Balance</i>
MFV	Mapa de Fluxo de Valor
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

A indústria da construção é um dos ramos produtivos que mais vem sofrendo alterações substanciais nos últimos anos. Segundo Mattos (2010), as empresas se deram conta de que investir em gestão e controle de processos é inevitável com a crescente globalização, demanda por bens modernos, intensificação da competitividade, velocidade com que surgem novas tecnologias e o aumento do grau de exigência dos clientes. Sem essa sistemática gerencial, os empreendimentos perdem de vista seus principais indicadores: o prazo, o custo, o lucro, o retorno sobre o investimento e o fluxo de caixa.

Deficiências no planejamento e no controle estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor construtivo, de suas elevadas perdas e da baixa qualidade dos seus produtos (MATTOS, 2010). Nesse contexto, o investimento em planejamento e estratégias de produção otimizadas se fazem necessários para a implantação de uma nova forma de construir. A previsão de situações desfavoráveis e de indícios de desconformidades permite tomada de decisões corretas durante a obra, na tentativa de minimizar impactos no custo e no prazo finais.

Desde os anos 50, um novo conceito vem se desenvolvendo visando melhorar economicamente a situação nas indústrias (BARCELOS, 2021). Esse conceito se consolidou com o Sistema Toyota de Produção na indústria automotiva e posteriormente se difundiu como pensamento enxuto nas demais indústrias. Já nos anos 90, esse conceito propagou-se para a construção civil, frente à necessidade de desenvolvimento do setor, sendo conhecido como Construção Enxuta. A nova metodologia enxuta surge como diferencial para empresas da construção civil reduzirem desperdícios identificados no processo construtivo.

A fachada de um edifício ocupa posição de destaque no projeto e na execução de uma edificação. Além de ser um componente fundamental da proteção e vedação de um edifício, a fachada se destaca como elemento estético e tem participação significativa nos custos de uma obra. Nesse aspecto, com a análise sistemática das atividades que envolvem a execução de fachadas, o presente trabalho busca identificar deficiências em planejamentos e fluxos de ataque e propor melhorias nos processos com base na metodologia enxuta.

1.2. JUSTIFICATIVA

Para se obter resultados esperados na indústria da construção civil, é necessário um eficiente sistema de gestão e um planejamento eficaz e funcional para evitar baixa qualidade na produtividade, seja nas perdas ou na execução de tarefas devido a mão de obra (ANDRADE e MILEO, 2016). Uma possível forma de auxiliar as empresas de construção a minimizar a incidência de perdas na produção é através do desenvolvimento de trabalhos que contemplem as inovações gerenciais propostas pelo pensamento enxuto.

Nesse contexto, busca-se utilizar princípios da construção enxuta na execução de fachadas de edifícios para gerar melhorias construtivas em toda cadeia produtiva de uma edificação. Dentro de uma visão integrada da edificação, as fachadas têm papel fundamental na elaboração e definição de um edifício. O projeto e a execução de fachadas são descritos por Franco (2000), como sendo preocupações crescentes das construtoras que demandam cada vez mais por estes serviços especializados, em vista do temor aos altos valores empregados para sanar as patologias.

As fachadas, incluindo as esquadrias e os revestimentos, são responsáveis por criar condições de habitabilidade para o edifício, pois servem como mediadoras entre os meios externos e interno, podendo ainda apresentar um papel importante com relação à sustentabilidade dos edifícios. Os custos de execução e de manutenção das fachadas são expressivos com relação aos dos outros subsistemas, podendo representar até 20% do custo total da obra (OLVEIRA, 2009).

Na etapa de construção de uma edificação, a fachada é caminho crítico para liberação de serviços como instalação de esquadrias e consequente acabamento final dos ambientes. Por isso a análise da execução da fachada pode gerar estratégias de ataque à obra mais eficientes. Através deste estudo, é estabelecido o sequenciamento das atividades envolvidas na execução de fachadas em uma construtora de Brasília, elencando-se desperdícios e analisando caminhos críticos. Com base nessa análise, o trabalho propõe uma análise da Linha de Balanço da fachada de um edifício em Brasília, com o desenvolvimento de passos que otimizem o planejamento e insiram o *takt time* para balanceamento das atividades.

Com a análise do planejamento e cronograma de uma obra em uma construtora de Brasília, pode-se entender a influência do planejamento sistemático de atividades na otimização de tempos e serviços. Com o presente estudo, pode-se entender como estratégias *Lean* podem influenciar nos tempos de execução dos serviços e como utilizá-las para otimizar cronogramas.

1.3. OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos gerais e específicos do presente trabalho.

1.3.1. Objetivos gerais

O presente trabalho propõe uma reprogramação da Linha de Balanço da fachada de um edifício em Brasília com a inserção de ferramentas *lean* que otimizem as atividades e distribuam os gargalos encontrados no panorama atual de uma obra em Brasília. Pretende-se obter melhorias no planejamento com base nas oito etapas propostas por Oliveira (2018) segundo princípios do *takt time*.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar uma pesquisa exploratória a respeito de princípios da filosofia enxuta e como estes podem ser utilizados em processos construtivos;
- Elencar desperdícios no processo de execução de fachada em uma construtora de Brasília e analisar como princípios da construção enxuta podem ser utilizados para mitigar os desperdícios levantados e como eles podem influenciar no planejamento da obra;
- Quantificar o ganho de dias de produção com a aplicação da metodologia enxuta no planejamento em uma obra em Brasília.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos que representam etapas específicas do trabalho.

O capítulo 1 refere-se à introdução do tema abordado, fazendo uma varredura geral sobre o que será estudado e sobre o que motivou e justificou a escolha do tema. O capítulo também lista os objetivos gerais e específicos.

O capítulo 2 faz a revisão bibliográfica, em que são feitas revisões acerca do tema que será abordado durante o trabalho, às quais podemos destacar o Sistema Toyota de Produção, Pensamento Enxuto, Princípios *Lean*, Desperdícios, Construção Enxuta e Ferramentas *Lean* que auxiliaram nos procedimentos desenvolvidos, como Mapa de Fluxo de Valor, Análise Multimomento, Diagrama Espaguete e Linhas de Balanço.

O capítulo 3 informa a metodologia que foi trabalhada durante a pesquisa e a realização do trabalho, informando sobre decisões tomadas e práticas adotadas, de maneira a alcançar os resultados desejados.

O capítulo 4 mostra os resultados alcançados durante o desenvolvimento do projeto, com a análise dos procedimentos de execução de fachadas em uma construtora de Brasília e o desenvolvimento da metodologia aplicada para propor uma nova Linha de Balanço em uma obra em Brasília. Também são apresentados todos os gráficos e levantamentos feitos para gerar a nova Linha de Balanço com base na aplicação do *takt time*.

O capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho, avaliando os resultados obtidos e propondo sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

O Sistema Toyota de Produção (STP) surgiu em meados de 1950 de um estudo realizado por Eiji Toyoda juntamente com seu principal engenheiro de produção, Taiichi Ohno, sobre o modelo aplicado nas fábricas da Ford, que se baseavam em sistemas de produção e vendas em massa. O mercado japonês exigia a produção de pequenas quantidades de muitas variedades sob condições de baixa demanda, restrições vindas de um cenário pós-guerra.

Durante as visitas às fábricas da Ford para estudar o modelo de produção em massa, Toyoda e Ohno perceberam que o pequeno mercado com demandas fragmentadas não iria suportar altos volumes de produção. Portanto, para sobreviver, os gerentes perceberam que era necessário fazer uma adaptação ao mercado japonês, pois, em contraste à filosofia Ford da época, eram necessários baixos volumes de produção com diferentes modelos usando a mesma linha de montagem. A necessidade do mercado japonês exigia qualidade, custo baixo, *lead-time* curto e flexibilidade (OHNO, 1997).

O Sistema Toyota de produção foi implementado após a Segunda Guerra Mundial, porém ganhou notoriedade no mercado japonês após a primeira crise do petróleo no outono de 1973. O Japão enfrentava um cenário de crescimento zero e decréscimo de produção, porém a Toyota se destacou com seus resultados positivos em meio aos péssimos resultados das empresas japonesas. O objetivo principal do Sistema Toyota de Produção foi aumentar a eficiência da produção pela eliminação consistente e completa de desperdícios.

Segundo Ohno (1997), o STP possui duas bases de sustentação, o *Just in Time* e a “Autonomação”, ambas inspiradas na produção sem desperdícios. O *Just in Time* (JIT) é uma metodologia que, operacionalmente, indica que cada processo de um sistema de produção deve seguir um fluxo contínuo e ser abastecido com a quantidade correta de itens, disponibilizados no lugar e na hora certa, além de possuir uma produção puxada (a ordem de produção se inicia a partir de uma demanda do cliente). Em um processo de fluxo baseado no *Just in Time*, as partes necessárias à montagem alcançam a linha de montagem quando são necessárias e somente na quantidade necessária. Como suporte ao *Just in Time*, a Toyota deu ênfase à “autonomação”, que se traduz na produção de máquinas que possam evitar

problemas de produção de elementos defeituosos pela detecção e parada automática, impedindo que defeitos sejam gerados e propagados no fluxo de produção.

Na Segunda Guerra, os japoneses incorporaram o termo *takt* (ritmo, em alemão) nas indústrias com o objetivo de alcançar o ritmo adequado de produção e, com isso, atender os esforços de guerra. Contudo foi na fábrica de automóveis Toyota que o conceito foi desenvolvido e aplicado com reconhecido sucesso.

2.2 PENSAMENTO ENXUTO (*LEAN*)

A designação *Lean*, cuja tradução significa “enxuto”, reflete a ideia de que as empresas podem “fazer mais com menos” - menos esforço, menos equipamentos, menos recursos humanos e menos espaço – enquanto se aproximam mais e mais da capacidade de fornecer aos clientes aquilo que eles realmente necessitam (WOMACK & JONES, 1996).

Após a Primeira Guerra Mundial, Alfred Sloan, da General Motors, e Henry Ford conduziram a fabricação mundial de séculos de produção artesanal – liderada pelas firmas europeias – para a era da produção em massa. Womack & Jones (1996) afirmam que resultou daí, em grande parte, os Estados Unidos terem dominado a economia do globo.

Após a Segunda Guerra, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, da Toyota japonesa, foram pioneiros no conceito da produção enxuta em contraponto à produção em massa. O salto japonês para sua atual prominência econômica logo se seguiu, na medida em que outras companhias e indústrias japonesas copiaram este notável sistema (WOMACK & JONES, 1996). Os japoneses, portanto, deram início à filosofia *Lean*, alavancando suas fábricas e métodos produtivos com base no STP.

Para Womack *et al* (1990), os profissionais japoneses tentaram desenvolver um sistema que unia as vantagens da produção artesanal, com trabalhadores altamente qualificados e ferramentas flexíveis para produzir com exatidão aquilo que o consumidor pedia, às vantagens da produção em massa, com elevado nível de produção e baixo custo. Esse sistema inovador tinha como propósito produzir muitos modelos em pequenas quantidades sem aumentar os custos de produção.

O sistema de produção Toyota e a abordagem *Lean* difundiram-se com diversos nomes ao longo de suas globalizações, dentre eles o *Lean Production*, adotado por Womack, Jones e

Roos em 1990 na obra “*The machine that changed the world*”, *Lean Thinking* adotado por Womack e Jones em 1996 na obra “*Lean Thinking*” e *Lean Construction* adotado por Koskela em 1992 na obra “*Application of the New Production Philosophy to Construction*”.

A designação *lean* advém da filosofia de utilizar menores quantidades em comparação com a produção em massa: metade do esforço dos operários na fábrica, metade do espaço de fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de planejamento para desenvolver novos produtos em metade do tempo (Womack *et al.* 1990). Requer também menos estoques no local de fabricação, além de resultar em menos defeitos e produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos.

Com o intuito de levar a construção a atingir níveis de eficiência e produtividade satisfatórios, o *Lean Construction* surgiu oriundo do *Lean Production*. O *Lean Production* nasceu no Japão, na indústria automobilística, e englobou diversos conceitos e procedimentos que originaram uma produção mais eficiente, quase isenta de desperdícios (ARANTES, 2008). Com os resultados positivos deste método surgiu a intenção de o aplicar na construção civil, que, no entanto, possuía características distintas da produção em série, nascendo o *Lean Construction*.

2.3 PRINCÍPIOS *LEAN*

Womack & Jones (1996) identificam cinco princípios do pensamento *lean* nas organizações, que visam à eliminação das perdas e desperdícios, sendo estes especificados nos tópicos abaixo:

- Especificação do valor (*Value Specification*)
O ponto de partida crítico para o pensamento enxuto é o valor. O valor só pode ser definido pelo cliente final e só é significativo quando expresso em termos de um produto específico (um bem ou serviço e, muitas vezes, ambos ao mesmo tempo) que atende às necessidades do cliente a um preço específico em um momento específico.

- Identificação do fluxo de valor (*Value Stream Identification*)

O fluxo de valor é identificado como o conjunto de ações específicas necessárias para conduzi-lo a um determinado produto por meio de três tarefas críticas de gerenciamento:

- Tarefa de solução de problemas: etapa que engloba desde o conceito até o *design* detalhado e engenharia para lançamento de um produto;
- Tarefa de gerenciamento da informação: etapa que engloba desde o recebimento do pedido, passando pela programação detalhada até a entrega do produto;
- Tarefa de transformação física: etapa que engloba desde a matéria-prima até o produto acabado nas mãos do cliente.

Portanto, a cadeia de valor consiste no processo pelo qual o produto passa; desde a sua concepção, passando pelo fluxo de produção da matéria prima ao produto acabado, contemplando as especificações detalhadas de projeto e os prazos estabelecidos, e finalizando com a entrega do produto ao cliente final. Durante cada uma dessas etapas, irão existir atividades agregadoras e não agregadoras de valor ao produto. Por esse motivo, todos os envolvidos no processo de produção devem buscar um entendimento destes conceitos visando à eliminação de passos desnecessários em cada atividade e entre elas, ajustando assim toda a cadeia em torno de um objetivo comum.

- Fluxo (*Flow*)

Baseia-se na realização progressiva de tarefas ao longo do fluxo de valor para que um produto passe da concepção ao lançamento, do pedido à entrega e da matéria-prima às mãos do cliente sem interrupções. As atividades devem fluir gerando valor de uma etapa para outra (fluxo contínuo) e não ficarem estanques e ligadas ao conceito dos lotes, segundo o qual uma atividade só é iniciada quando se tem muitas peças a serem processadas, impedindo que o fluxo seja contínuo.

Womack & Jones afirmam que quando o fluxo é introduzido, o tempo necessário para ir do conceito ao lançamento de um produto cai drasticamente,

sendo os sistemas enxutos capazes de absorver mudanças de demanda rapidamente.

- **Produção Puxada (*Pull Production*)**

No Sistema Puxado, o material somente é processado em uma operação, se ele é requerido pela operação subsequente no processo, a qual, no momento necessário, envia um sinal que funciona como uma “ordem de produção” à operação fornecedora para que esta inicie a produção e a abasteça.

- **Perfeição (*Perfection*)**

Ao se alcançar o sucesso com a integração dos princípios anteriores, parte-se então em busca da maior satisfação possível do cliente, o qual receberá produtos mais próximos das suas necessidades.

Portanto, observa-se que a utilização dos princípios apontados por Womack & Jones (1996) tem como objetivo principal a eliminação das perdas, criando um fluxo contínuo de valor, que alcance todas as etapas da cadeia produtiva.

2.3.1 Princípios *lean* na Construção Enxuta

Em seu trabalho, Koskela (1992) estabelece onze princípios, inspirado nos cinco princípios da *Lean Production*, aplicáveis efetivamente à indústria da construção civil. Cada princípio possui enfoque em aspectos envolvidos numa visão sistêmica do ambiente de produção e considera que a redução da parcela de atividades que não agregam valor e a melhoria contínua são duas premissas fundamentais em qualquer sistema enxuto. Os onze princípios relatados por Koskela:

- 1- Reduzir as atividades que não agregam valor;
- 2- Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades do cliente;
- 3- Reduzir a variabilidade;
- 4- Reduzir o tempo do ciclo de produção;
- 5- Simplificar através da redução do número de passos ou partes;
- 6- Aumentar a flexibilidade na execução do produto;
- 7- Aumentar a transparência do processo;

- 8- Focar o controle no processo global;
- 9- Introduzir melhoria contínua no processo;
- 10- Manter o equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões;
- 11- Referenciais de ponta – benchmarking.

2.4 DESPERDÍCIOS SEGUNDO *LEAN*

A base do conceito do pensamento enxuto é a eliminação sistemática dos desperdícios dentro das empresas. Segundo Ohno (1997), desperdício se refere a todos os elementos de produção que só aumentam os custos sem agregar valor, ou seja, são as atividades que não agregam valor ao produto, do ponto de vista do cliente, mas são realizadas dentro do processo de produção. Ohno, em sua obra “O sistema Toyota de Produção”, destaca sete desperdícios principais:

- Desperdício de superprodução

Representa perdas decorrentes da produção antecipada de produtos, imobilizando-se produtos finais antes do necessário ou devido à produção excessiva, nas quais se produz mais do que a demanda. A superprodução consome capacidade de produção dos recursos quando não são necessários ocasionando possíveis atrasos de outros produtos.

- Desperdício de tempo disponível (espera)

Representa longos períodos de ociosidade de pessoas, peças e informação, com conseqüente fluxo pobre de produtos. A falta de balanceamento no processo de produção ocasiona a paralisação de postos de trabalho resultando em baixa taxa de ocupação de equipamentos e paralisação da atividade humana, caracterizando perdas por espera.

- Desperdício em transporte

Representa movimento excessivo de pessoas, informação ou peças, resultando em gasto desnecessário de capital, tempo e energia. Quando qualquer recurso é

movido ou transportado de um local para outro sem necessidade, gera-se um desperdício de transporte visto que a atividade de locomoção não agrega valor ao produto final.

- Desperdício do processamento em si

A atividade de acrescentar ao processo mais “trabalho” ou esforço do que o requerido pelas especificações dos clientes também é um tipo de desperdício (SILVA, 2005). Essa categoria refere-se a processos que não agregam valor ao item produzido e afetam diretamente a produtividade e custo de operação.

- Desperdício de estoque disponível

Desperdício representado por grandes armazenamentos e falta de informação ou produtos, resultando em custos excessivos e baixo desempenho do serviço prestado ao cliente. O estoque é gerado pelo excesso de fornecimento de materiais entre os processos ou excesso de fornecimento de materiais pelos fornecedores. O seu excesso gera custos e perdas com consequente desperdício.

- Desperdício de movimentação

O desperdício de movimentação diz respeito a movimentos desnecessários do corpo do trabalhador ao executar uma tarefa. As movimentações dentro do setor produtivo devem ser aquelas necessárias ao processamento de atividades. A desorganização do ambiente de trabalho pode gerar baixas performances dos aspectos ergonômicos e perda frequente de itens de trabalho, gerando assim desperdícios de movimentação.

- Desperdício de produzir produtos defeituosos

Representado pela produção de produtos que não atendem às demandas requeridas. Os produtos devem ser manufaturados de forma correta, caso contrário, serão adicionadas tarefas desnecessárias para sua finalização, dentre as quais, pode-se citar energia, tempo de equipamento, mão-de-obra e outros, que acrescentarão custos desnecessários para a correção do defeito encontrado (SILVA, 2005). Sendo assim, a melhoria contínua e medidas de prevenção são os meios mais eficazes para reduzir os desperdícios causados por defeitos

2.5 FERRAMENTAS LEAN

Para implementar os princípios do pensamento enxuto, uma variedade de técnicas e ferramentas são utilizadas para auxiliar sua aplicação. Essas ferramentas combinadas podem ser de grande importância numa implementação de sucesso (ARTO, 2010). Neste contexto, são apresentadas algumas ferramentas, que de acordo com a gestão de processos são mais adequadas para compreensão deste trabalho.

2.5.1 *Last Planner System (LPS)*

A partir das pesquisas e conjunto de trabalhos realizados por Glenn Ballard e Greg Howell, foi criado o *Last Planner System (LPS)* para melhorar a previsibilidade e a confiabilidade da produção no setor da construção (MOSSMAN, 2015). O Sistema *Last Planner (LPS)* é um modelo de planejamento que almeja melhorar a confiabilidade no fluxo de trabalho, reduzir a variabilidade e as perdas no processo construtivo, além de promover a redução de custos e do tempo de construção.

O *Last Planner* consiste em levantar conjuntos de tarefas a serem realizadas e selecionar aquelas que possam efetivamente ser designadas às equipes executoras (RODRIGUES *et al.* 2018), inserindo uma visão de quem em última instância realizará essas tarefas. Considera-se que novos planos são gerados de forma participativa, à medida que são obtidas informações adicionais sobre o objetivo analisado, evitando restrições referentes a mão de obra, materiais, especificações de projetos e equipamentos.

Nesse aspecto, existem três etapas de planejamento que caracterizam o *Last Planner System* (LPS), sendo elas: planejamento de longo prazo (também nomeado planejamento estratégico ou do empreendimento), médio prazo (também chamado de *look-ahead planning*) e de curto prazo (também conhecido como planejamento operacional ou de comprometimento (*commitment planning*)), apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Quadro resumo referente aos níveis de planejamento (JEHA e CARVALHO, 2016)

2.5.2 Mapa de Fluxo de Valor (MFV)

Segundo Gregolis (2020), o Mapa de Fluxo de Valor (MFV) ou *Value Stream Mapping* é uma ferramenta altamente útil para a aplicação dos conceitos da construção enxuta, sendo uma ferramenta inicial ideal para se tomar conhecimento do fluxo atual dos processos. O Mapa de Fluxo de Valor pode promover um diagnóstico da produção, identificando interferências existentes durante o desenvolvimento das atividades e alterações necessárias que possam ser propostas através de um planejamento para o desenvolvimento de um MFV de estado futuro.

A ferramenta do Mapa de Fluxo de Valor introduzida por Mike Rother & Jhon Shook (2003) é um método de modelagem com procedimentos para construção de cenários de manufatura, levando em consideração tanto o fluxo de materiais como o fluxo de informações nos processos (VIEIRA, 2006). A modelagem ajuda na visão do estado atual do fluxo, possibilitando a percepção de atividades referentes a esperas, estoques, transporte, inspeções e trabalho em progresso, além de facilitar a percepção de desperdícios na produção, o que permite eliminar ou reduzir atividades do fluxo.

O MFV é uma técnica capaz de identificar as atividades agregadoras de valor, bem como as não agregadoras, desde que a matéria-prima é entregue pelo fornecedor até ser transformado em produto acabado para entrega ao cliente. Para a elaboração do mapeamento do fluxo de

valor, Rother & Shook (2003) desenvolveram um manual prático para uso empresarial que estabelece uma sequência lógica de etapas:

1. Escolha da família de produtos: Selecionar uma família de produtos composta por um grupo de produtos que passam por etapas semelhantes de processamento;
2. Desenho do estado atual e futuro: Desenhar o estado atual e o estado futuro, o que é feito a partir de informações coletadas no chão de fábrica;
3. Plano de trabalho e implementação: Preparar um plano de implementação que descreva como se deseja chegar ao estado futuro.

Com ferramenta MFV, é possível identificar detalhadamente cada processo do fluxo, determinando o *lead time* por meio de estoques de matéria prima, em processo e produto acabado. Na perspectiva do cliente, *lead time* é o tempo de processamento total do pedido, ou seja, desde o momento em que é identificada uma necessidade e gerada uma ordem de compra até o momento em que esta é recebida e a necessidade suprida.

O MFV caracteriza-se também por ser um método visual de fácil compreensão, que permite enxergar os desperdícios de estoque, de superprodução e de processo, entre outros benefícios. A Figura 2 ilustra as etapas do mapeamento do fluxo de valor.

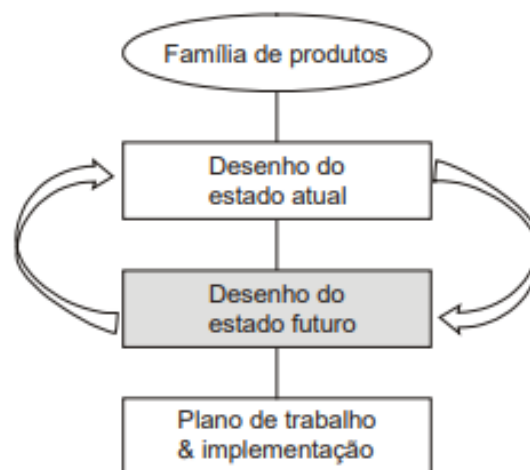


Figura 2 - Etapas do mapeamento do fluxo de valor (Rother & Shook, 2003)

Depois de selecionar uma família de produtos, informações são coletadas no chão de fábrica para desenhar o estado atual. Após isso, são mapeados os processos produtivos. Todos os

processos são identificados e algumas informações básicas sobre eles são coletadas. As informações que podem estar contidas no Mapa de Fluxo de Valor:

- Tempo de ciclo (TC): tempo em que uma peça ou produto é completado por um processo. Esse tempo inclui o tempo de operação mais o tempo requerido para preparar, carregar e descarregar os materiais.
- Tempo de trocas (TR): tempo que se leva para mudar a produção de um tipo de produto para outro. Envolve por exemplo, o tempo de troca de ferramentas.
- Disponibilidade: tempo disponível por dia, ou por turno no processo, descontando os tempos de parada e manutenção.
- Índice de rejeição: índice que determina a quantidade de produtos defeituosos gerados pelo processo.
- Número de pessoas necessárias para operar o processo.

Durante o mapeamento indica-se o tamanho dos estoques ao longo de um fluxo de valor com ícones de triângulos simples, e anota-se dentro ou abaixo de cada triângulo a quantidade de estoques disponíveis (VIEIRA, 2006). Na parte inferior do mapa localiza-se a linha de tempo com a qual se compara o *lead time* e o tempo de processamento de cada atividade. Um exemplo de Mapa de Fluxo de Valor pode ser visto na Figura 3, em que ícones de transporte podem ser utilizados sobre as setas do fluxo para indicar utilização de automóveis para transporte.

No canto superior direito do Mapa, normalmente encontra-se o cliente que vai receber o produto depois de todo o fluxo, e do lado superior esquerdo encontra-se o fornecedor que vai iniciar o processo da cadeia agregadora de valor.

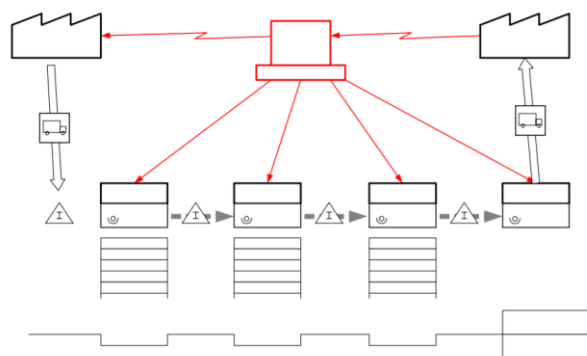


Figura 3 – Exemplo de Mapa de Fluxo de Valor (VIEIRA, 2006)

Após a descrição do estado atual, deve-se fazer o desenho do estado futuro. O mapa do estado futuro é a meta a ser perseguida, e mesmo após ter sido alcançado deve ser revisado para se buscar a melhoria contínua do fluxo de valor.

2.5.3 Análise Multimomento

A análise multimomento, originalmente chamada de *snap reading technique*, é uma técnica estatística criada por Tippet (1934) para obter tempos de máquinas e operações na indústria (MENEZES, 2019). Esta análise é uma técnica de amostragem do trabalho, ou seja, uma técnica baseada na realização de observações pontuais ao longo de períodos estabelecidos.

Com o objetivo de reduzir o tempo desperdiçado em operações desnecessárias que não acrescentam valor ao produto final, utiliza-se as análises multimomento para classificar as atividades em categorias e quantificar em percentagem o tempo gasto nas suas execuções. A ferramenta consegue, através de várias observações durante um período, mostrar as perdas de um determinado posto de trabalho.

Segundo Ohno (1997), as atividades podem ser classificadas em três categorias, sendo elas:

- Atividades que agregam valor: atividades que, aos olhos do cliente, tornam o produto mais valioso.
- Atividades desnecessárias: atividades que, aos olhos do cliente, não tornam o produto mais valioso, sendo, portanto, desnecessárias. Por exemplo, armazenagem, inspeção, retrabalho e localização de material e ferramenta;
- Atividades necessárias que não agregam valor: não tornam o produto mais valioso, mas são necessárias enquanto o processo não mudar radicalmente. Por exemplo, limpeza de ferramentas e regulagens.

A Tabela 1 proposta por Fagundes *et al.* (2018) faz o resumo da categorização das atividades.

Tabela 1 – Categorização das atividades segundo criação de valor (FAGUNDES et al. 2018)

Categorização das atividades	Conceito
Atividades que agregam valor	Determinadas pelo ponto de vista dos clientes. Atividades de valor agregado são as atividades que o cliente paga uma parte do preço final do produto.
Atividades que não agregam valor, mas são necessárias	São necessárias para permitir valor agregado atividades nas atuais condições de trabalho (ou "necessário desperdício").
Atividades que são desnecessárias	Atividades que são desnecessárias e são, assim, definidas como "puro desperdício".

2.5.4 Diagrama de Espaguete

O Diagrama de Espaguete é uma ferramenta *lean* que foi criada para auxiliar na criação de um *layout* ideal através da observação dos caminhos percorridos na execução de uma atividade. Esta ferramenta é recorrida por profissionais sempre que buscam entender a eficácia do layout atual do espaço em estudo e elaborar possíveis melhorias.

Conforme Quetz (2015), o Diagrama de Espaguete, é uma técnica para ajudar a estabelecer o layout ideal, com as observações das distâncias percorridas na realização de uma determinada atividade, que visa entender os caminhos percorridos em um processo produtivo. É uma ferramenta de fácil aplicação, sendo necessária uma planta baixa ou uma representação gráfica em escala do espaço em estudo para posterior desenho da movimentação dos trabalhadores.

Segundo Freitas (2013), o primeiro passo para poder construir o diagrama é ter o desenho da planta baixa do local a ser analisado entre outras informações relevantes que possam interferir na movimentação analisada. O próximo passo é esboçar o desenho na planta baixa, traçando os caminhos que são percorridos pelos funcionários analisando a situação real, para posteriormente identificar desperdícios. Tomaz (2019) faz o sequenciamento dos passos para realizar um diagrama espaguete:

- Fazer o desenho do layout inicial;
- Desenhar elementos extras que causem estoques e materiais no local de trabalho;
- Verificar o deslocamento dos funcionários, materiais e equipamentos;
- Desenhar linhas que representam a movimentação de pessoas;
- Apontar paradas e pausas durante a atividade;
- Fazer uma análise detalhada do processo, levantando desperdícios encontrados na movimentação.

A Figura 4 apresenta um exemplo de Diagrama de Espaguete, evidenciando a acumulação das vias e as zonas de saturação, oferecendo informação para reconsideração de novos cenários possíveis nas obras para melhorar a circulação de trabalhadores.

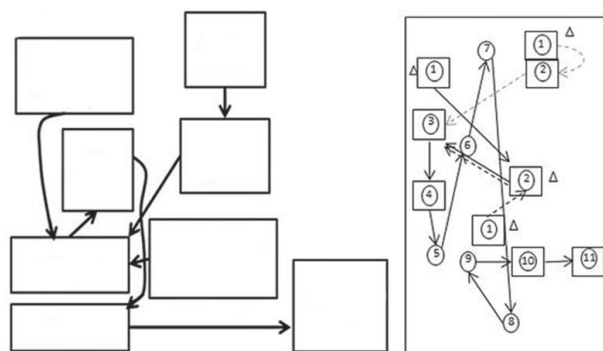


Figura 4 – Exemplo de Diagrama Espaguete (QUETZ, 2015)

2.5.5 Linha de balanço

A técnica da Linha de Balanço foi criada pela Goodyear na década de 40, e posteriormente foi desenvolvida pela Marinha dos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial. O método foi empregado na indústria da produção em série com o objetivo de atingir ou avaliar a taxa de fluxo de produtos acabados em uma linha de produção (ICHIHARA, 1997).

Segundo Maziero (1990), sua aplicação foi expandida para a construção civil devido aos empreendimentos de natureza repetitiva identificarem-se com as linhas de produção da indústria manufatureira.

O Método da Linha de Balanço fornece uma grande gama de possibilidades, tendo em vista que, além de sua característica gráfica permitir conectar a atividade ao tempo e local de execução, ela proporciona a visualização de dados como os ritmos de produção. Maziero (1990) ainda afirma que a Linha de Balanço facilita a análise de desempenho geral das atividades permitindo a comparação de estratégias de execução de trabalhos pela visão geral da operação em qualquer etapa do desenvolvendo.

A linha de balanço é derivada do gráfico de barras, e pode conter formas de linhas ou blocos. O balanceamento em linhas consiste em um planejamento em que os locais da obra, por exemplo pavimentos ou lotes, são dispostos no eixo das ordenadas, enquanto o calendário segue o eixo das abscissas. Além das linhas, o planejamento pode ser visualizado também em um conjunto de blocos, em que a largura equivale à duração da atividade como pode ser visualizado na Figura 5.

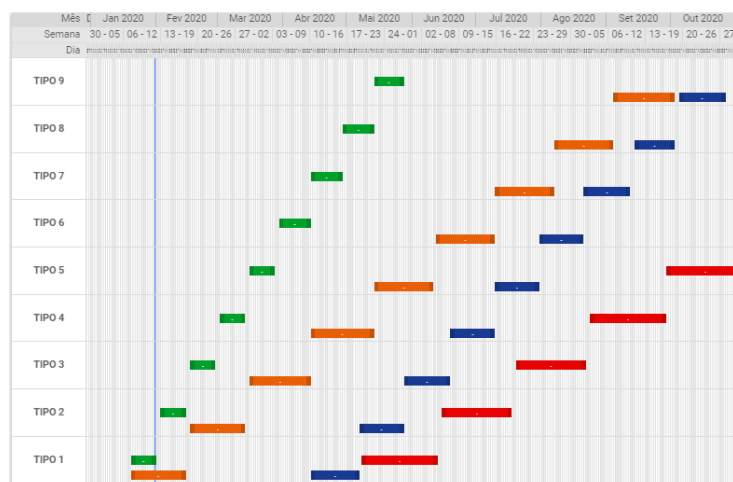


Figura 5 - Exemplo de Linha de Balanço (O que é a Linha de Balanço. Prevision, 2020. Disponível em: <<https://www.prevision.com.br/blog/linha-de-balanco-o-que-e/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2021)

Assim como em outros métodos de programação de obra baseados na produtividade, a linha de balanço exige o conhecimento da quantidade de serviço a executar e a produtividade da equipe, uma vez que estas informações são necessárias para obter a demanda de mão-de-obra para executar cada tarefa (PRADO, 2002).

A metodologia utilizada para programação de um empreendimento está ligada aos resultados esperados com o planejamento. Existem dois métodos de programação da Linha de Balanço que possuem as mesmas características, sendo diferenciados pelo prazo de conclusão da obra e a determinação do ritmo do trabalho (MAZIERO, 1990).

O primeiro é o Método de Programação Paralela, em que a razão de produção, que é o ritmo de entrega adotado, é imposta a todas as atividades. Ou seja, na programação Paralela é definido um ritmo único para todas as atividades. Na Programação Paralela, o tempo de construção de cada unidade não varia de unidade para unidade, garantindo um ritmo único à obra. Os desvios entre o programado e o progresso real da obra são em princípio, mais frequentes e significativos na Programação Paralela, devido aos ritmos de trabalho serem diferentes do ritmo natural.

O segundo é o Método de Programação de Recurso, sendo cada atividade programada com sua razão de produção natural a qual está próxima da razão de construção desejada. Segundo Maziero (1990), o ritmo natural é definido em função da duração de cada operação, fazendo com que cada atividade tenha um ritmo diferente.

Segundo MADERS (1987), para que a Linha de Balanço seja efetiva no planejamento da produção, existem cinco características principais que podem ser destacadas:

- Maior parte do trabalho que permita a fragmentação em atividades repetitivas;
- Tamanho do empreendimento que permita o desenvolvimento do fluxo produtivo satisfatório;
- Pré-planejamento do trabalho já executado ou viabilidade de sua execução;
- Condições de um controle periódico da produção serem favoráveis;
- Possibilidade de alteração do projeto, que facilite o processo produtivo (e que possa ser considerado).

Ainda pode-se separar em etapas os métodos que norteiam a aplicação da linha de balanço em uma obra. Maziero (1990) encadeia etapas que podem ser visualizadas no fluxograma da Figura 6. Uma descrição completa da obra deve ser realizada antes do início das definições que serão utilizadas na Linha de Balanço.

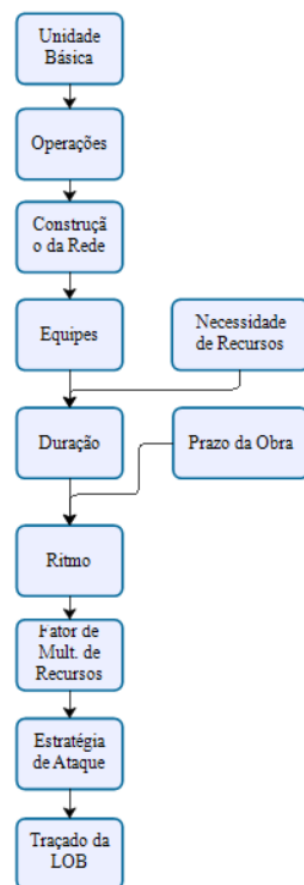


Figura 6 – Fluxograma de aplicações do método da linha de balanço (MAZIERO, 1990 Adaptado)

Frandsen, Berghede & Tommelein (2013) também resumem o caminho para utilização do conceito do ritmo no planejamento da produção em setores construtivos com características repetitivas, norteando a aplicação do *takt time* e da Linha de Balanço:

- Coleta das informações;
- Definição das áreas de trabalho (zonas);
- Compreensão da sequência construtiva;
- Entendimento dos tempos de cada atividade;
- Balanceamento do fluxo de atividades;
- Determinação do plano de produção.

2.5.6 *Takt Time*

A palavra *takt* designa o compasso de uma composição musical, tendo sido introduzida no Japão após a Segunda Guerra com o sentido de ritmo de produção. Os técnicos japoneses buscavam aprender técnicas de fabricação com engenheiros alemães, contudo, foi na fábrica de automóveis da Toyota que o conceito de ritmo foi aplicado e desenvolvido com sucesso (SHOOK, 1998).

Para entender a formação da Linha de Balanço, se faz necessário compreender o conceito de *takt time*. Esse conceito é definido como o “tempo de ritmo” por Oliveira (2018), sendo o tempo que deve ser gasto em cada lote para produzir um produto ou uma peça em um determinado período. A Equação 1 resume a ideia de cálculo do *takt time* em que a divisão da jornada de trabalho pela demanda expressa o ritmo imposto ao fluxo de trabalho para um lote de serviço. As estações de trabalho em uma fábrica devem trabalhar no mesmo ritmo para que o resultado das linhas de produção alcance a melhor eficiência possível, caso contrário, surgirão desperdícios (OLIVEIRA, 2018).

$$Takt\ time = \frac{Tempo\ de\ atividade\ (jornada)}{Demanda\ (quantidade\ necessária)} \quad \text{Equação 1}$$

Com a definição do *takt time* também é necessário entender o conceito de “tempo de ciclo”. Monden (1984) afirma que o tempo de ciclo é aquele que uma unidade de um produto necessita para ser produzida. Ramos (2010) afirma que o tempo de ciclo é o intervalo de tempo entre a produção de duas peças sucessivas num sistema produtivo. As duas definições

completam a ideia de que o tempo de ciclo é definido pelo período total de execução de determinado produto.

Dessa forma, para definir a quantidade de colaboradores em uma operação é ideal analisar a relação entre o *takt time* e o tempo de ciclo. A relação entre a quantidade de colaboradores necessários em uma operação e a quantidade de operados da equipe mínima pode ser calculada pela divisão do tempo de ciclo calculado para uma equipe mínima pelo *takt time*, segundo Equação 2.

$$\text{Quantidade de Colaboradores} = \frac{\sum \text{tempo de ciclo}}{\text{Takt time}} \quad \text{Equação 2}$$

Em um estudo de caso, Oliveira (2018) calculou o *takt time* de sua produção a partir da quantidade de entregas necessárias por dia em uma fábrica, sendo necessária a produção de uma peça a cada 12 segundos. A partir da análise do tempo de produção de uma peça por cada trabalhador na fábrica, foi possível gerar o gráfico exposto na Figura 7, que mostra a diferença de tempos de ciclo. Visualmente, é possível identificar que três operadores realizavam a produção de uma peça abaixo do *takt time*, porém um operador estava acima do tempo, sendo necessária então uma reprogramação de atividades e equipes.

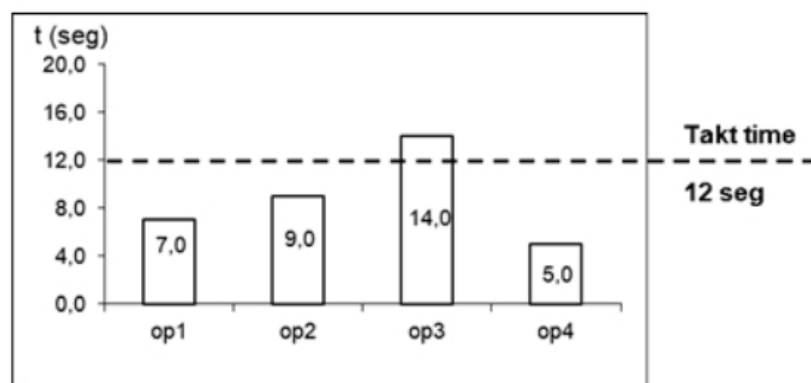


Figura 7 – Análise dos tempos de ciclo comparado com o *takt time* (OLIVEIRA, 2018)

Com o cálculo do tempo de ciclo do exemplo de Oliveira (2018) resultando em 35 segundos, foi possível determinar a quantidade de colaboradores ideal para um *takt time* de 12 segundos a partir da equação 1, resultando em 2,9 colaboradores para a operação. Constatado isso, foi possível fazer o balanceamento de equipes sabendo que seriam necessários apenas 3 operários para realizar a entrega no tempo estabelecido.

Oliveira (2018) detalha oito etapas para o desenvolvimento do *takt time* em um planejamento, complementando os itens propostos por Frandson, Berghede & Tommelein (2013) para qualquer tipo de construção. Essas etapas servirão de base para desenvolvimento deste trabalho e serão desenvolvidas nos itens abaixo.

1. Divisão em partes e definição do tamanho do lote;
2. Identificação do sentido construtivo;
3. Encadeamento das atividades;
4. Definição do quantitativo;
5. Identificação das equipes mínimas;
6. Cálculo do *takt time*;
7. Ajuste das equipes por atividade;
8. Elaboração da programação.

2.5.6.1 Divisão em partes e definição do tamanho do lote

A definição do tamanho do lote é um dos pontos mais relevantes do processo de definição de um ritmo, visto que é determinante nos ganhos de produtividade no planejamento. Oliveira (2018) demonstra que a redução do tamanho do lote proporciona a redução do *lead time* e um maior dinamismo nos percursos da obra.

Maziero (1990) relaciona a definição do lote à determinação da unidade básica, que representa o elemento de repetição que será analisado na linha de balanço em toda área de análise de planejamento. É fundamental que a unidade de repetição seja escolhida cuidadosamente, para que o ritmo impresso na linha de balanço seja o melhor à medida que as atividades fluem pelo tempo.

Em edificações, a seção de repetição pode ser uma casa, uma quadra ou um grupo de casas. Em conjuntos habitacionais de blocos de edifícios, a seção pode ser um bloco, um pavimento ou até mesmo parte do pavimento. Na construção de um edifício único, a seção pode ser um pavimento ou parte do pavimento (MAZIERO, 1990).

2.5.6.2 Identificação do Sentido Construtivo

A identificação do sentido construtivo permite uma avaliação visual dos percursos executados pelos operários. Com essa análise, é possível identificar interferências e necessidades de

acessos durante a construção, possibilitando uma visão do fluxo de equipes, materiais e equipamentos como na Figura 8.

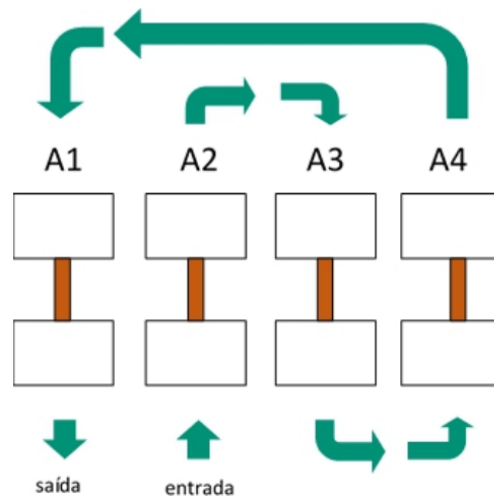


Figura 8 – Exemplo de sentido construtivo proposto por Oliveira (2018).

2.5.6.3 Encadeamento de atividades

As atividades são definidas pelo conjunto de trabalhos realizados continuamente e executados por uma mesma equipe de profissionais. Maziero (1990) afirma que a obtenção das atividades envolvidas na realização de uma unidade básica, ou lote, pode ser feita através de orçamentos analíticos das obras e através da análise direta de projetos.

A definição das atividades é descrita por Oliveira (2018) como um excelente momento para entender os detalhes do processo, as dificuldades de cada atividade e as necessidades de materiais e ferramentas. Também é nessa etapa que são identificadas possíveis atividades que não podem ser encadeadas.

Após a determinação das atividades necessárias, é estabelecida uma rede lógica entre as atividades que mostre claramente as dependências entre as operações. Um diagrama pode ser construído ao passo que demonstre a sequência em que as operações devem ser executadas, satisfazendo as necessidades lógicas de uma edificação.

2.5.6.4 Definição do quantitativo

Essa etapa de implantação do *takt time* pretende identificar o volume de trabalho por lote, fazendo o levantamento de quantitativos de produção e produtividade de cada serviço relacionado à atividade analisada.

2.5.6.5 Identificação das equipes mínimas

Para a determinação do tamanho das equipes, é necessário inicialmente levantar as necessidades de mão de obra e de recursos necessários para o andamento da obra, como expresso no tópico anterior. Uma equipe mínima é a menor combinação possível de colaboradores para executar uma atividade, podendo ser composta por uma, duas ou inúmeros trabalhadores, caso seja necessário.

A identificação das equipes mínimas está relacionada a identificação das produtividades de cada atividade, sendo necessário, em passos posteriores, o balanceamento destas equipes para o melhor ritmo produtivo. A necessidade de mão de obra é representada pela quantidade de homens-hora (hh) necessários para a execução de determinada tarefa.

Como as obras possuem prazos estipulados para entrega, o ritmo de construção não é função somente do prazo natural de duração das atividades por equipes de trabalhadores. A definição das equipes deve então analisar não apenas a duração dada pela prática, e sim os prazos e produtividades que podem ser atingidas por cada trabalhador.

No decorrer da realização da obra, as equipes podem ser modificadas no canteiro, visto que diferentes operários têm diferentes produtividades. Desta forma, uma equipe de dois operários pode ter a mesma produtividade que uma equipe de três operários (MAZIERO, 1990).

2.5.6.6 Cálculo do *Takt Time*

Para se tirar proveito do *takt time*, inicialmente é necessário padronizar o método de cálculo dos tempos de ciclo, que são as durações de cada operação. Maziero (1990), com a Equação 3, considera a necessidade de recursos em horas para cada serviço, o número de homens por equipe e a jornada de trabalho diária para o cálculo dos tempos de ciclo. A duração de qualquer operação é função da composição das equipes escolhidas para cada atividade.

$$d_i = \frac{hh_i}{(e_i * j)} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

d_i = duração da operação i;

hh_i = necessidade de recursos em horas da operação i;

e_i = número de homens da equipe i;

j = jornada de trabalho diária ($\frac{\text{horas}}{\text{dia}}$)

O tempo total necessário para a construção de um lote pode ser calculado pela Equação 4 , que expressa a soma de todas as durações das operações necessárias em uma unidade.

$$DU = \sum_{i=1}^n d_i \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

DU = duração da unidade básica;

d_i = duração da operação i;

n = número de operações

Com o desenvolvimento da Equação 1, pode-se definir o *takt time* para as atividades em um planejamento com diversos lotes. O ritmo, ou *takt time*, pode ser definido a partir da quantidade de entregas de unidades que devem ser feitas em um período para que o tempo de conclusão da obra seja garantido. Assim, pode-se definir o *takt time* como o tempo em que cada lote deve ser finalizado por cada equipe atuando sequencialmente, para que a atividade seja concluída no prazo estipulado. Oliveira (2018) expressa o cálculo do *takt time* a partir da Equação 5:

$$Takt\ time = \frac{\text{Prazo para conclusão das atividades}}{\text{Quantidade de lotes definidos} + n^{\circ} \text{ equipes} - 1} \quad \text{Equação 5}$$

Através da análise das equações apresentadas, é possível identificar que se cada equipe de trabalho realizar o quantitativo de 1 lote no período do *takt time*, o prazo de conclusão da obra

será atendido. Com esse cálculo, é possível realizar o balanceamento e ajustes de equipes para o Tempo de Ciclo ser igual ou inferior ao *takt time*.

2.5.6.7 Ajuste das equipes por atividade

Com o cálculo do *takt time* e o levantamento de produtividades e quantitativos de cada operação é possível representar graficamente o tempo que cada equipe levaria para realizar a atividade em 1 lote e compará-lo ao tempo *takt* definido. Com a Figura 9, é possível verificar que Oliveira (2018) propõe a análise gráfica dos tempos de execução de cada atividade em uma obra, com os serviços no eixo das abscissas e os tempos de execução no eixo das ordenadas. Com o *takt time* calculado, pode-se traçar uma reta que demonstre o quão próximas ou distantes as atividades estão do tempo ideal. No exemplo proposto por Oliveira (2018) cinco atividades estavam com tempos de execução do lote superiores ao *takt time* exigindo, portanto, ajustes em suas equipes ou redefinição das atividades.

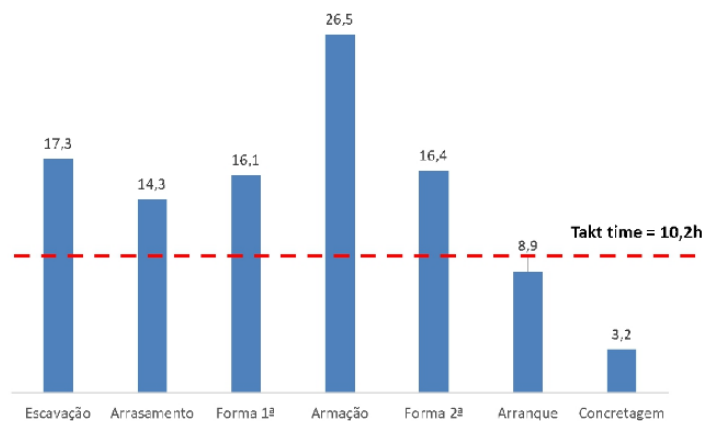


Figura 9 – Exemplo de duração de atividades em 1 lote (OLIVEIRA, 2018).

2.5.6.8 Elaboração da programação

Com os resultados obtidos, para cada tipo de projeto determinam-se escalas e equipes adequadas e em gráfico plotam-se retas representativas do desenvolvimento das operações ao longo do tempo, ou seja, o gráfico da Linha de Balanço. Para ser utilizado em obra, o gráfico é transformado em uma planilha de posições e tempos que possui para cada equipe o seu posicionamento na obra e no tempo (MAZIERO, 1990).

A estratégia de ataque à obra é realizada em função da escolha do lote e de fatores construtivos. Quando a execução de uma unidade básica depende da execução da unidade

anterior, a estratégia de ataque é determinada por fatores construtivos analisados pelo planejamento da obra. É importante definir como o “Planejamento Puxado” funcionará e como cada equipe deverá agir na obra frente ao planejamento (OLIVEIRA, 2018).

2.6 FACHADAS

Segundo Oliveira (2009), a fachada, incluindo esquadrias e revestimentos, é um dos mais relevantes subsistemas do edifício, é responsável pelas condições de habitabilidade e estética, contribuindo para a valorização do empreendimento e tem um papel importante relacionado à sustentabilidade. Além disso, os custos de execução e de manutenção da fachada são expressivos com relação aos outros subsistemas.

Além de as fachadas exercerem importantes funções para a durabilidade dos edifícios, uma importante função da fachada é proteger os ambientes interiores do clima exterior. Responsável pela proteção do edifício perante os agentes externos, os sistemas de fachada devem constituir-se em uma camada reguladora das cargas térmicas que agem na superfície da envoltória (OLIVEIRA, 2009; ABNT, 2010). A fachada representa um valor importante no total da obra, sendo um dos custos mais elevados do edifício. Ainda nesse aspecto, Ceotto (2005) cita que a fachada é uma das atividades que está no caminho crítico de uma obra.

As fachadas podem ser classificadas quanto a forma com que o acabamento é incorporado a elas, podendo ser classificadas em duas grandes categorias:

- Revestimento aderido: revestimento que trabalha aderido sobre a base e substrato que lhe servem de suporte;
- Revestimento não aderido: sistema constituído de placas de revestimento fixadas ao substrato por meio de componentes mecânicos, que possibilitem a existência de uma câmara de ar (ou de material isolante térmico), entre o substrato e as placas de revestimento.

Os sistemas de revestimento não aderido de fachada são caracterizados por não estarem integrados à vedação. Nesse aspecto, pode-se citar três modalidades já introduzidas no Brasil: sistema de fixação de granitos com insertos, fachadas em pré-moldados de concreto e cortinas de vidro. Os três sistemas têm funções de vedação e revestimento, além de eliminarem patologias comuns dos revestimentos aderidos (VEDOVELLO, 2012).

Este trabalho abordará a metodologia de execução de fachadas em granitos com fixação com insertos metálicos, modalidade largamente utilizada em Brasília. Conhecendo os principais materiais e métodos que constituem o revestimento não aderido, pode-se mapear todo o processo de execução, apontando as dificuldades e os desperdícios na execução desse tipo de fachada. Posteriormente, propõe-se um modelo de planejamento otimizado da Linha de Balanço das fachadas de um edifício em Brasília, mostrando ganhos de tempo e produção com a aplicação de ferramentas *lean*.

2.6.1 Execução de fachada em granito com insertos

Um dos objetos de estudo do trabalho é a análise dos processos que envolvem a execução de fachadas em granito, tipologia majoritariamente utilizada nas obras da atualidade na região estudada de Brasília. Os revestimentos de fachadas com placas de rocha devem obedecer a todas as disposições construtivas do projeto arquitetônico e do projeto executivo do revestimento, empregando-se somente os materiais e componentes especificados (ABNT NBR 15846:2010).

Após a definição dos materiais a serem empregados nas fachadas, que devem estar de acordo com os projetos arquitetônico e executivo da edificação, surge-se a preocupação com o armazenamento dos materiais. Segundo a ABNT NBR 15845:2010, as placas de granito devem ser preferencialmente armazenadas em áreas cobertas, acessíveis e exclusivas próximas dos locais onde serão instalados e os insertos devem ser estocados em locais cobertos, acessíveis e exclusivos, de modo a garantir a sua integridade física e suas características morfológicas originais.

O transporte para as frentes de trabalho deve ser considerado em todas as etapas da execução da fachada, incluindo movimentações horizontais e verticais. A movimentação horizontal pela obra pode ser realizada com carrinhos de carga, carregadeira ou empilhadeira. A movimentação vertical é definida pela estratégia de movimentação adotada pela obra. Entre as soluções estão os: andaimes fachadeiros (Figura 10), balancins elétricos e manuais e plataformas cremalheiras. Cada uma das opções tem suas particularidades e oferecem vantagens e desvantagens para a situação em que será empregado.



Figura 10 - Andaime fachadeiro. (Fonte: Acervo pessoal)

Antes da instalação das peças de granito, estas devem ser preparadas e furadas de acordo com o projeto de fachadas. Para encaixe dos insertos nas peças, os granitos devem seguir extrema precisão durante a furação. As placas devem ser fixadas no mínimo em três pontos, sendo mais comumente por quatro, sendo mostrado na Figura 7 os locais mais usuais para realização da fixação na placa.

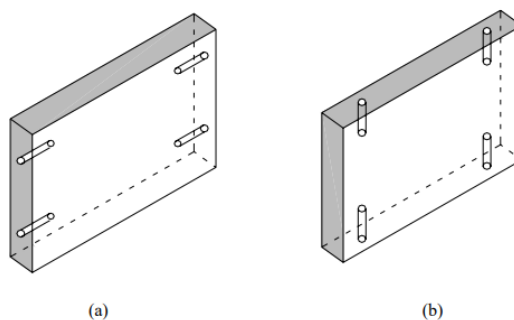


Figura 11 - Locais de fixação do inserto metálico nas placas de rocha, sendo (a) fixação pelas laterais e (b) fixação pelas partes superior e inferior. (MOREIRAS, 2005)

A furação deve ser executada com máquina especializada, com apoio das placas de maneira que elas não se movimentem durante a perfuração. Na Figura 12 pode ser visualizada a furadeira adaptada para perfuração de granitos



Figura 12 - Furadeira para granito. (Furadeira Dorvo FD2 de borda. Eucassel, 2021. Disponível em: <<https://www.eucassel.com.br/produto/furadeira-dorvo-fd2-de-borda/>>. Acesso em: 15 de outubro de 2021)

Antes de se iniciar de fato a instalação das rochas, deve-se fazer uma regularização do substrato, corrigindo defeitos e irregularidades das vigas e das alvenarias do edifício, com a retirada de pontas de ferro e elementos que atrapalhem no alinhamento da fachada.

Ainda antes da instalação das placas, deve-se proceder a conferência das estruturas de sustentação dos insertos na fachada. Os membros estruturais, em que os chumbadores e os insertos são instalados, podem ser os próprios elementos estruturais da edificação, pilares e vigas. A Norma Brasileira ABNT NBR 14827:2002 (p.6) faz a ressalva:

O membro estrutural no qual o chumbador deve ser instalado deve ser representativo quanto a materiais e quanto à configuração pretendida para uso no campo. Assim sendo, não há proibição para que o membro estrutural seja armado. A localização e a orientação das armaduras embutidas no concreto ou em alvenaria devem ser consideradas.

Além desses pontos, é possível prever pontos de ancoragem nos sistemas de vedação. Pode-se utilizar blocos especiais do tipo canaleta, preenchidos com concreto, a fim de criar uma linha de fixação para os chumbadores.

Quando não existe uma compatibilização entre os projetos de revestimento de fachada e os projetos de vedação, ou no caso de revitalização de fachadas que não previam originalmente a instalação de revestimento não aderido, a solução é a criação de bolsões de concreto no sistema de vedação, também chamados de “Coxins”. O sistema de coxins de concreto consiste

na abertura de nichos nos sistemas de vedação pré-existentes e concretagem destes com auxílio de uma forma, ilustrado na Figura 13. Os tamanhos dos nichos devem ser determinados respeitando os critérios pré-estabelecidos para membros estruturais. Além disso, deve-se analisar cuidadosamente a interface entre o concreto e a alvenaria, para a qual não há garantias sobre a real aderência entre alvenaria e concreto.

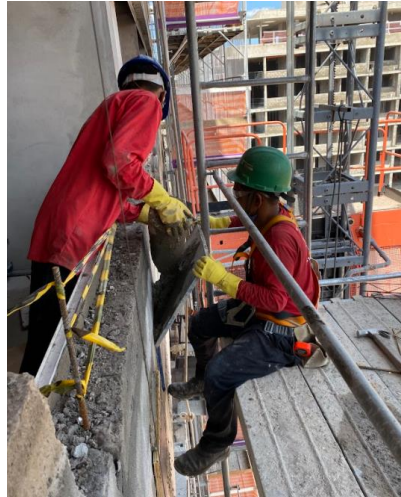


Figura 13 - Execução de “coxins” na fachada de um edifício residencial (Fonte: Acervo pessoal)

Após a compatibilização dos membros de sustentação da fachada, pode-se enumerar quatro etapas fundamentais: furação do substrato para inserção dos suportes; colocação dos insertos metálicos, colocação das placas e aplicação da vedação. Essas etapas serão descritas nos tópicos abaixo.

1. Furação do substrato para inserção dos suportes:

O executor do trabalho deve fazer a perfuração da fachada para inserção dos suportes, sendo os chumbadores de ancoragem mecânica os suportes mais comumente utilizados para sistemas de revestimento não aderido (ANTONIAZZI, 2019). Segundo catálogo técnico da Âncora Sistemas de Fixação (2019), esses chumbadores trabalham por intermédio de uma ação mecânica gerando expansão (aumento de diâmetro) ou efeito de interferência ao laminar a parede do furo (formar uma rosca), dependendo do modelo em questão, com a finalidade de fixar componentes em diversos tipos de materiais base.

Os chumbadores mecânicos têm bitolas e comprimentos diferentes e fixam por meio de expansão gerada por torque ou percussão. Nos chumbadores por percussão, a fixação

acontece por meio da expansão da ponta do parabolt no substrato, provocada pela energia de impacto. A ancoragem de expansão por torque envolve o uso de barras roscadas ou parafusos (com roscas internas e externas) que se fixam ao furo por meio de atrito.

Os dois tipos de chumbadores podem ser utilizados para fixação de estruturas metálicas, máquinas, equipamentos, instalações elétricas e hidráulicas em geral. Os chumbadores se constituem basicamente por um parafuso com arruela acoplado a uma camada externa, semelhante a uma bucha de parafuso, que ao se girar o parafuso, através de um sistema, faz essa camada externa se abrir aumentando o diâmetro do chumbador, fixando-o no furo em que foi instalado.



Figura 14 - Chumbador mecânico (Fonte: Autora)

2. Colocação dos insertos metálicos

Os insertos são fixados nos chumbadores e geralmente constituídos de três partes (em uma só peça ou não) com as seguintes características e funções:

- a) Uma parte a ser fixa no suporte (dos tipos parafuso, “chumbador”, “passante” etc). Os suportes foram abordados no tópico anterior.
- b) Uma parte constituída por barra, por cantoneira ou por outro perfil metálico, com eventual dispositivo de regulagem, para permitir o adequado posicionamento da placa;
- c) Uma parte que permitirá a união com as placas.

Além disso, os insertos podem ser classificados em dois tipos, segundo A Norma Brasileira ABNT NBR 15846:2010:

- a) sustentadores: responsáveis pela sustentação do peso próprio das placas e outras eventuais ações verticais;
- b) retentores: responsáveis por impedir o tombamento das placas, devido às ações perpendiculares a estas.

Um mesmo tipo de inserto pode ter função de sustentar, reter ou exercer estas funções concomitantemente. A norma NBR 15846/2010 relata que as ações verticais são normalmente transmitidas para os insertos sustentadores, colocados geralmente na parte inferior da placa. E que os outros insertos, retentores, são posicionados nas bordas laterais, próximos ao seu topo, ou na própria borda superior da placa.

Essa configuração pode ser vista na Figura 15, em que o número 1 representa insertos sustentadores da placa superior e retentores da placa inferior, o número 2 representa os insertos retentores entre as placas e o número 3 representa insertos sustentadores de duas placas.

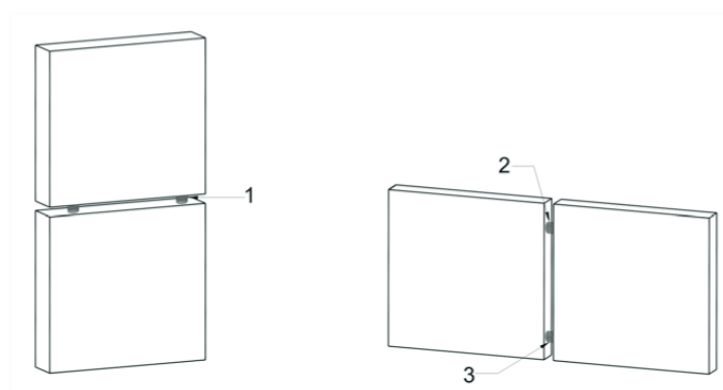


Figura 15 - Posicionamento de insertos (ABNT NBR 15846:2010)

Existem ainda diferentes tipos de insertos no mercado brasileiro, sendo os tipos mais comuns os insertos de pino simples (LS), pino duplo (LD), pino de transição (LT), chapa em ângulo (LG), gancho de transição de pino (GTP) e gancho de pino (GP), mostrados na Figura 16.

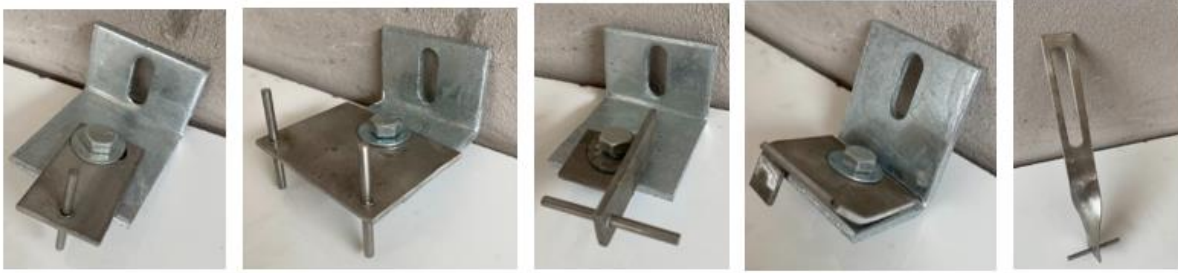


Figura 16 - Insertos de pino simples (LS), pino duplo (LD), pino de transição (LT), chapa em ângulo (LG) e gancho de pino (GP) na seqüência. (Fonte: Acervo Pessoal)

Por fim, a norma de projeto, execução e inspeção de revestimento de fachada de edificações com placas fixadas por insertos metálicos especifica que os insertos devem ser constituídos por ligas metálicas que possuam elevadas resistências mecânicas e a corrosão.

3. Colocação das placas:

As placas de granito são encaixadas nos insertos pelos executores e estas devem ser bem ajustadas para correta fixação. Desde que bem fixados os suportes e que tenham liberdade de movimentação, dada por uma adequada distribuição dos insertos nas placas de revestimento, o sistema de fixação garante estabilidade ao conjunto. Segundo ABNT NBR 15846:2010 as placas de revestimento estão submetidas às solicitações do tipo:

- a) Cargas paralelas ao plano das placas: peso próprio das placas; peso próprio de eventual camada de isolamento térmica.
- b) Cargas perpendiculares ao plano das placas: ação de ventos; pressões internas; impactos acidentais; peso próprio das placas quando colocadas na horizontal.
- c) Solicitações devidas ao movimento relativo do substrato do revestimento: deformações devidas a variações higrotérmicas, deformações permanentes devidas à retração e à deformação lenta do concreto; deformações permanentes devidas à movimentação das estruturas metálicas e em alvenarias.

Para superar às solicitações dispostas acima e garantir estabilidade, as placas de revestimento são fixadas no substrato através dos insertos. A definição do tipo de rocha utilizada na fachada deve estar de acordo com o projeto arquitetônico e com o projeto executivo do

revestimento, obedecendo a todas as disposições construtivas indicadas. A Norma Brasileira ABNT NBR 15846:2010 traz ainda recomendações para a seleção do material:

- a) Conhecer as características estéticas das rochas;
- b) Estabelecer faixa de tolerância para as variações estéticas da rocha quanto à estrutura, textura, cor presença de veios e outras características relevantes;
- c) Conhecer as características mineralógicas e petrográficas que eventualmente possam influenciar a durabilidade da rocha, tais como microfissuras, estado de alteração dos minerais, presença de minerais alteráveis etc., conforme ABNT NBR 15845, Anexo A;
- d) Dispor dos valores das propriedades físicas e físico-mecânicas da rocha; conforme ABNT NBR 15845;
- e) Considerar a possibilidade da placa de rocha sujeitar-se ao processo de acabamento de superfície desejada (polido, flamejado, apicoado, etc);
- f) Considerar a possibilidade de alterações na aparência do acabamento da superfície por agentes da poluição atmosférica e das intempéries;
- g) Assegurar que haja fornecimento das placas da rocha selecionada em quantidade suficiente para atender às necessidades da obra e ao cronograma estabelecido;

4. Aplicação da vedação:

O acabamento da execução das fachadas em granito é feito pela vedação entre as placas, concentrando-se no tratamento das juntas. Para seu tratamento, deve-se garantir que as placas estejam perfeitamente alinhadas e com juntas, tanto horizontais, quanto verticais com largura constante.

O rejuntamento é realizado utilizando um selante tipo silicone, aplicado com uma pistola aplicadora. Antes de ser aplicado o selante, deve-se isolar com fita a periferia das placas, a fim de evitar a contaminação da superfície acabada com o selante e causar manchas indesejadas ao revestimento. Após a aplicação do selante, utiliza-se uma espátula de borracha e detergente neutro para dar fino acabamento às juntas (ANTONIAZZI, 2019).

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

Neste capítulo será abordada a metodologia utilizada neste projeto, esclarecendo as fases de trabalho utilizadas. O trabalho é dividido em duas etapas, sendo inicialmente desenvolvido um referencial teórico para embasamento de conceitos que auxiliarão em análises sistemáticas da forma de construção de fachadas em uma construtora de Brasília. Em uma segunda etapa, são utilizados os fundamentos do *Lean Construction* e do *takt time* para reprogramar a Linha de Balanço da fachada de um edifício de Brasília.

O trabalho realiza uma análise cuidadosa de todos os passos necessários no processo de execução de fachada, objetivando-se identificar os gargalos e problemas que geram desperdícios ao longo do processo. Posteriormente analisa-se como a gestão da obra na construtora de Brasília propôs o planejamento das atividades relacionadas à execução da fachada de um edifício e como ela poderia ser melhorada com a aplicação de métodos *Lean* para solucionar problemas decorrentes no fluxo de atividades.

3.1 METODOLOGIA

Inicialmente realizou-se o levantamento de artigos e textos que abordam os princípios da filosofia enxuta através das ferramentas Google Acadêmico e *Web of Science*.

O Google Acadêmico é um serviço de busca do Google voltado para estudantes e pesquisadores, funcionando como um repositório de teses, artigos científicos, resumos e monografias. Pela facilidade de acesso e encontro de teses que abordem os conceitos desse artigo, essa ferramenta foi majoritariamente utilizada para realizar o referencial bibliográfico com a inserção de palavras-chave como *lean*, *lean construction*, *takt time* e construção enxuta”.

Buscou-se explorar os conceitos mais utilizados no meio acadêmico e utilizar referências de autores constantemente citados nos artigos revisados, como Taiichi Ohno, James Womack, Daniel Jones e Lauri Koskela. Também foram feitas leituras complementares relacionadas a influência da fachada na Construção Civil e como ela poderia influenciar no cenário geral de uma obra.

Em um primeiro momento buscou-se entender os conceitos e ferramentas que poderiam auxiliar na análise da execução de fachadas em uma visão enxuta, para posteriormente aplicar as ferramentas mais adequadas. Nesse sentido buscou-se fazer uma revisão acerca das principais ferramentas *lean* que poderiam ser utilizadas, como o Mapa de Fluxo de Valor, Análises Multimomento, Diagramas Espaguete e Linha de Balanço.

Também foram feitas revisões normativas acerca do método de execução de fachadas afim de entender os passos necessários em todo processo. Realiza-se uma análise expositiva dos métodos construtivos de fachada embasada em normas brasileiras, a fim de familiarizar o leitor com os métodos construtivos.

Posteriormente, com o objetivo de identificar gargalos e possíveis melhorias nos processos de execução de fachada, realiza-se uma revisão sistemática da metodologia de execução de fachadas em uma construtora de Brasília. A avaliação da obra foi feita através de pesquisa de campo, avaliando desde a gestão das atividades pertinentes ao canteiro, até a avaliação dos procedimentos e atividades realizadas pelos trabalhadores. Foram feitos registros fotográficos de todos os pontos encontrados durante as visitas.

Com a avaliação do cenário atual da empresa pode-se destacar os principais desperdícios encontrados no processo e compará-los aos desperdícios propostos por Taiichi Ohno em sua obra “O Sistema Toyota de Produção”.

Após compreender as atividades práticas que agregam valor ao produto final, pode-se fazer uma análise do planejamento da obra em relação à execução da fachada de granitos insertados. Com análise do cenário atual do planejamento, foram identificados gargalos que poderiam ser sanados com o replanejamento e inserção de técnicas enxutas na Linha de Balanço da obra.

Em uma segunda análise foram levantados todos os quantitativos de produtividade das atividades que envolvem a execução da fachada de granito em um edifício e estes foram utilizados para o cálculo do *takt time* do processo. Foi feita uma análise da Linha de Balanço em uma obra de uma construtora em Brasília e foi desenvolvida uma metodologia para ajustar o planejamento, fazendo com que o tempo final de execução fosse diminuído consideravelmente. Os tempos de execução de atividades foram balanceados para gerar uma Linha e Balanço mais cadenciada e ritmada.

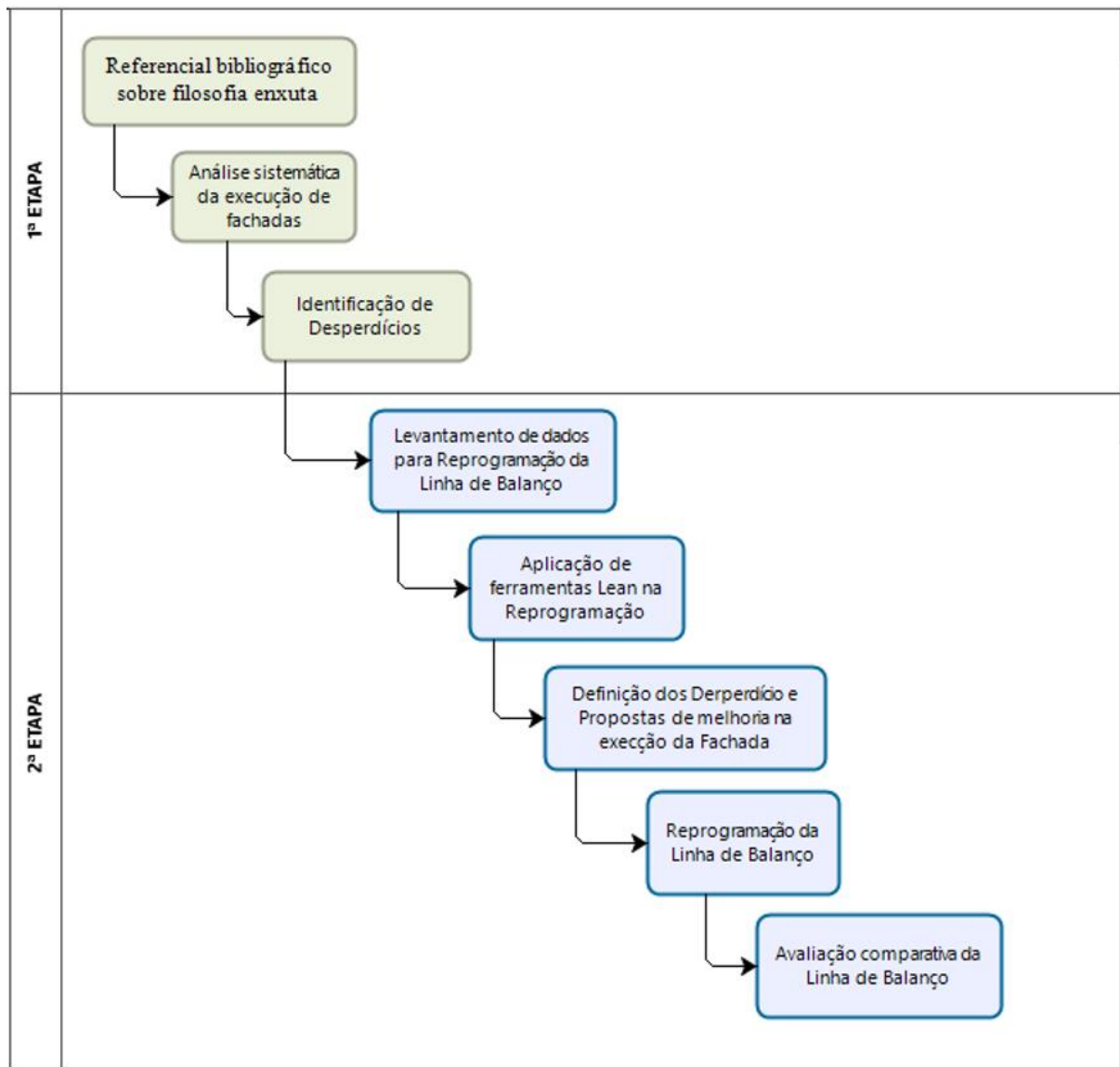


Figura 17 - Fluxograma de trabalho (Fonte: Autora)

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

Inicialmente será feita uma contextualização da empresa e das obras em que foram feitas as análises de produção de fachadas. Posteriormente, nesse capítulo, serão mostrados os resultados das análises em campo feitas nas obras e a proposta de melhoria da Linha de Balanço atual da empresa quanto à execução da fachada de granito insertado.

4.1 CONSTRUTORA

4.1.1 Contextualização da construtora

A empresa escolhida para análise é uma construtora consolidada no mercado da construção civil de Brasília e atua desde 2003 na cidade com foco na construção de edifícios. A construtora é responsável por grandes obras imobiliárias no Setor Noroeste, e hoje já possui 15 lançamentos no bairro. Com foco na expansão, a incorporadora fez lançamentos de edifícios em mais dois estados brasileiros, sendo eles Goiás e Minas Gerais.

A empresa busca melhoria contínua com foco em pesquisa de produtos e de mercado, novos diferenciais construtivos e itens de tecnologia que contribuam para a sustentabilidade, mobilidade urbana e compartilhamento. Alinhada a essa visão, a incorporadora fez a implementação da filosofia enxuta em suas obras.

Analisa-se que metade das obras prontas da construtora utilizaram a metodologia de execução de fachadas com insertos metálicos. Das obras que estão em execução, metade também utilizam essa tipologia. Ainda pode-se analisar os lançamentos futuros da empresa, que preveem quatro obras com a utilização de insertos, objetivo principal desse trabalho.

Com a estruturação de metodologias enxutas, é clara a vontade da incorporadora de melhorar seus processos internos e constantemente reavaliar sua forma de construir. Nesse sentido, o ambiente na empresa se torna propício às análises que vão ser demonstradas nos tópicos abaixo.

4.1.2 Contextualização das obras escolhidas

A primeira parte do trabalho consistiu em uma análise prática da execução da fachada em granito em uma obra localizada no Setor Noroeste, possuindo doze pavimentos no total, sendo

eles: dois subsolos, pilotis, seis pavimentos estilo tipo, cobertura, cobertura técnica e reservatório superior. A edificação possui 60 apartamentos no total, sendo 52 apartamentos do estilo tipo e 8 apartamentos do tipo duplex, e pode ser visualizada na Figura 18.



Figura 18 - Vista da fachada da edificação em que foram feitas as primeiras análises do trabalho. (Fonte: Incorporadora)

A fachada da obra foi executada com insetos metálicos e é constituída por dois granitos de colorações distintas: Granito Ocre Itabira Polido e Granito Branco São Paulo Polido. O fluxo de ataque por anéis, escolhido para o ataque, prevê a execução da fachada por pavimentos, ou seja, realizar a instalação do granito em todo primeiro pavimento, para subseqüentemente ir para o segundo pavimento e assim em diante.

Apesar de métodos da construção enxuta já terem sido implementados na construtora em serviços como execução de forro de gesso, execução de revestimento cerâmico, instalação de louças e execução de pintura, ainda a execução da fachada não foi explorada sistematicamente como se propõe no trabalho.

Em um segundo momento, foram feitas análises em outra obra da Construtora, também localizada no Setor Noroeste e possuindo 60 apartamentos no total. A nova obra possui andamento geral aproximado de 50% de todos os serviços envolvidos para entrega do empreendimento. Por estar em fase de planejamento e início de execução da fachada, pode-se realizar a análise do planejamento e da Linha de Balanço da obra.

A segunda obra difere-se da primeira em algumas particularidades. As lajes de concreto dos pavimentos terão acabamentos em concreto aparente, sendo necessário um tratamento especial para as lajes. A fachada posterior da obra, que pode ser visualizada na Figura 19, possui brises metálicos em toda sua extensão, sendo a fachada frontal característica por possuir majoritariamente granitos insertados. Também se destaca que a segunda obra será executada com apenas um tipo de granito, sendo especificado o Granito Cinza Castelo Escovado.



Figura 19 - Vista da fachada da edificação em que foram feitas as segundas análises do trabalho. (Fonte: Incorporadora)

4.2 RESULTADOS DO PROJETO

Os resultados apresentados, em um primeiro momento, buscam identificar as possibilidades de intervenção para melhoria do processo construtivo de fachadas na incorporadora. Enumeram-se desperdícios identificados na primeira obra e estes são comparados aos propostos por Taiichi Ohno. Posteriormente propõe-se um modelo de planejamento de Linha de Balanço ideal para a segunda obra utilizada no estudo de caso. A análise dos processos deu-se por meio do acompanhamento das atividades executadas, avaliação do processo de gestão da obra, pesquisas com os gerentes e engenheiros da obra, registros fotográficos e simulações computacionais.

4.2.1 Método de execução da fachada pela incorporadora na primeira obra

Em um primeiro momento, analisando a primeira obra, foi identificado que as atividades que são realizadas nos pavimentos tipo da edificação são acompanhadas através de métodos de sequenciamento de atividades e medições consecutivas. A construtora possui métodos eficientes de acompanhamentos de serviços, sendo possível visualizar datas de execução e programações rítmicas das atividades pelos pavimentos. Porém, as fachadas não acompanham essa metodologia. As fachadas são consideradas externamente ao fluxo de atividades dos pavimentos, sem grandes especificações de atividades. As produtividades diárias dos instaladores de granito ainda não são acompanhadas, fator que leva a imprecisão do tempo estimado para os ciclos de atividade da produção.

Apoiado nos princípios do *Last Planner System* a empresa faz o planejamento de suas atividades com base em Planejamentos a longo, médio e curto prazos. Com relação ao Longo prazo, pode-se citar o acompanhamento das atividades pela Linha de Balanço, que como já mencionado, a incorporadora possui um excelente acompanhamento de atividades dos pavimentos tipo, porém ainda deficiente para as fachadas. Como Planejamento a curto prazo foram identificados planilhas e reuniões semanais de acompanhamento de atividades por parte da engenharia, garantindo a aplicação do planejamento junto aos empreiteiros da obra.

Com o acompanhamento presencial na primeira obra analisada não foram identificados métodos de gestão visual da fachada, fator que dificulta a tomada de decisões quanto aos fluxos de ataque e tempos de execução. Marcações manuais em plantas de projeto poderiam ser adotadas para aumentar o controle de tempos de ciclo e aumentar a transparência do processo.

O primeiro contato com a execução da fachada se inicia nas medições e cotações do material a ser comprado. A equipe de engenharia da obra fica encarregada de fazer levantamentos de quantitativos e de fornecedores para um setor especializado em suprimentos realizar efetivamente a compra dos materiais. Desde essa etapa inicial levanta-se um dos principais problemas encontrados no processo: pouca variedade de fornecedores de granito no mercado e dificuldade de entrega de materiais na obra no prazo correto.

A primeira obra analisada possui dois fornecedores de granito, sendo uma empresa localizada em Brasília e a outra localizada em outro Estado da Federação. A empresa de Brasília não

apresentou atrasos na entrega de suas peças, em contraponto com a segunda fornecedora. Houve atrasos sucessivos de fornecimento de granitos e transtornos relacionados à qualidade do material entregue, criando transtornos desnecessários ao processo.

As peças de granito precisam de um local de armazenamento adequado, preferencialmente devem ser armazenadas em áreas cobertas, acessíveis e exclusivas próximas dos locais onde serão instaladas (ABNT NBR 15846:2010). A área de armazenamento e furação das peças de granito Ocre Itabira e granito Branco São Paulo encontram-se na entrada da obra, região de grande circulação de pessoas, como mostrado na Figura 20. O trânsito de pessoas é frequente nessa região, gerando a possibilidade de acidentes pela proximidade das máquinas de furação.



Figura 20 - Região na obra de armazenamento de granito e mesa de furação. (Fonte: Acervo pessoal)



Figura 21 - Exemplo de furo realizado nas peças de granito na mesa de furação. (Fonte: Acervo Pessoal)
A Figura 21 exemplifica o resultado da furação das placas de granito, que são executadas nas laterais das peças. Após a furação, uma equipe de dois instaladores carrega os granitos para

um *pallet* de madeira, que posteriormente é transportado até a entrada da cremalheira pela carregadora mecânica. Os instaladores desmontam o *pallet* e transportam peça a peça para o interior da cremalheira através do carrinho visualizado nas Figuras 22 e 23. Um desperdício evidente de transporte acontece nesse processo, não agregando valor ao processo, visto que as peças poderiam ser carregadas diretamente para a cremalheira caso houvesse um meio de transporte mais adequado para os granitos.



Figura 22 - Carrinho utilizado para transporte de peças de granito nos pavimentos. (Fonte: Acervo pessoal)



Figura 23 - Desmonte do pallet de granitos e transporte unitário de peças para a cremalheira. (Fonte: Acervo Pessoal)

Por serem carrinhos muito pequenos, em que as peças ficam pouco apoiadas, são frequentes as danificações e quebras de peças de granito. Pelas peças de granitos serem muito pesadas o seu transporte exige extremo cuidado, fator que é dificultado pela pequena região de apoio no carrinho.

Ao serem descarregados nos pavimentos, os granitos permanecem em uma área de descarga, como na Figura 24, localizada à frente da cremalheira, até que sejam transportados para o local de execução com os carrinhos mostrados na Figura 22. Novamente, caso houvesse um meio de transporte que conseguisse transportar as peças desde o centro de furação até o local de instalação, etapas poderiam ser otimizadas em todo o processo, evitando a necessidade de carregamentos manuais.

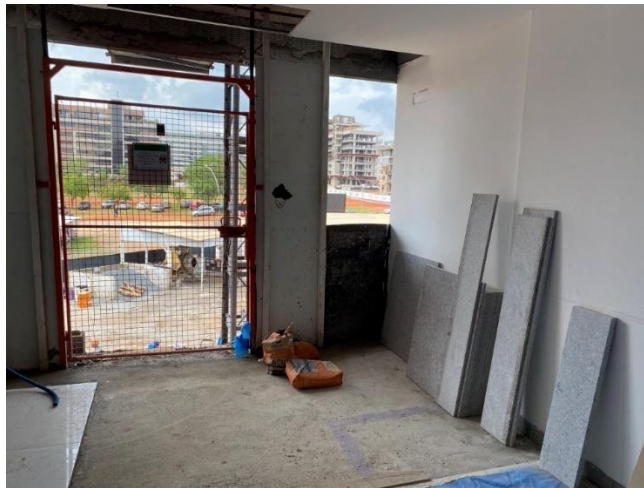


Figura 24 - Área de descarga dos granitos no pavimento. (Fonte: Acervo Pessoal)

Para inserção dos suportes no substrato, os executores da fachada de granito analisam se o sistema de vedação externa do edifício é adequado para a colocação dos chumbadores e insertos. Foi observado que em todas as frentes da fachada foram necessárias marcações de pontos que deveriam ser abertos nichos e posteriormente serem concretados, para confecção de coxins, sendo executados por uma equipe de dois funcionários. Uma compatibilização entre os projetos de revestimento de fachada e os projetos de vedação poderia ser feita para evitar essa etapa do processo.

A instalação do revestimento é executada por dois instaladores, um ficando majoritariamente no andaime e outro na parte de dentro do edifício. Primeiro procede-se a furação do substrato

com furadeira, colocação do chumbador no substrato com posterior colocação do inserto metálico. Essas etapas são realizadas pelo funcionário que se localiza no andaime.

Não foram identificadas metodologias de separação de insertos, sendo que os funcionários requisitam grandes quantidades de insertos no almoxarifado para execução da fachada. Caso fossem utilizados kits separados por áreas de execução, os montadores não precisariam levar insertos que não seriam utilizados, evitando o transporte de peso desnecessário.

Na instalação de peças que não terão continuidade nas laterais, o operador precisa fazer medições in loco da posição dos chumbadores e insertos. Este instalador transmite as medidas feitas para o outro funcionário que está dentro da edificação e este faz cortes nas pedras para encaixe no inserto da lateral, como mostrado na Figura 25. Os cortes são efetuados com uma ferramenta de serra no local de instalação enquanto o instalador no andaime espera os cortes serem finalizados. Os granitos cortados são apoiados em pequenas placas de gesso que os afastam do piso.



Figura 25 - Corte da peça de granito no interior da edificação. (Fonte: Acervo pessoal)

Para transferir a peça de granito de dentro do edifício para o andaime, verificou-se que as peças são apoiadas no contramarco das esquadrias, segundo Figura 26. Essa etapa pode causar danos nos contra marcos, amassando e danificando os perfis metálicos, problema que pode afetar na posterior instalação das esquadrias de alumínio. Após o encaixe da peça de granito, o operador no andaime segue com o aperto dos parabolts e ajustes no posicionamento da peça.



Figura 26 - Apoio da peça de granito no contramarco. (Fonte: Acervo pessoal)

A última etapa no processo de instalação da fachada é realizada por uma equipe diferente da que executa a instalação da rocha. A vedação das placas de granito é feita por um instalador com o auxílio de uma pistola de aplicação, inserindo silicone entre as juntas dos granitos.

4.2.2 Análise da Linha de Balanço da segunda obra

Após a análise detalhada e criteriosa do método de execução de fachada de granito pela incorporadora na primeira obra, pode-se analisar os métodos de gestão dos serviços envolvidos na execução da fachada na segunda obra. A Linha de Balanço é a ferramenta principal utilizada para visualização e planejamento de atividades, sendo utilizada também para o planejamento da fachada.

Inicialmente, faz-se a análise da primeira linha de balanço feita pelo setor de planejamento da empresa com a utilização do software *Prevision*. Em um primeiro momento, as fachadas da edificação foram divididas em quatro lotes, sendo eles “Fachada 1º, Fachada 2º, Fachada 3º e Fachada 4º”, segundo Figura 27.

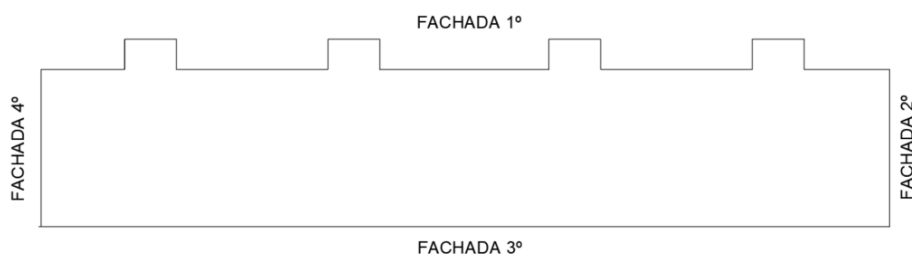


Figura 27 – Divisão Inicial dos Lotes – R00 (Fonte: Autora)

Pode-se notar que a primeira Linha de Balanço possui quatro pacotes de serviços, sendo eles a Montagem dos Andaimes, Regularização da Fachada, Granito Insertado e Desmontagem dos Andaimes. Esses serviços e a divisão dos lotes iniciais podem ser visualizados na Tabela 2, em que o planejamento inicial será identificado com a sigla “R00” neste trabalho.

Tabela 2 – Divisão de Lotes e Serviços na Primeira Linha de Balanço R00. (Fonte: Autora)

Linha de Balanço - R00	
Lotes (4)	Fachada 1°
	Fachada 2°
	Fachada 3°
	Fachada 4°
Serviços (4)	Montagem dos Andaimes - Fachada
	Regularização da Fachada
	Granito Insertado
	Desmontagem dos Andaimes

A primeira Linha de Balanço dividiu a edificação em quatro grandes partes, cada uma relacionada a uma fachada do prédio. Essa programação pode ser visualizada no Anexo A do documento e na Figura 28, em que todo planejamento inicial das atividades foi lançado com a ajuda do *software Previson*. A divisão dos lotes em grandes áreas de serviço, como proposto na Tabela 2, se mostrou inadequada frente ao desenvolvimento das demais atividades do prédio. O aterramento do pavimento Pilotis foi executado pela obra em partes, liberando as atividades posteriores apenas nas regiões em que o aterramento havia sido concluído. Dessa forma, a execução das atividades das fachadas não poderia mais ser designada como se propôs na Linha de Balanço R00.

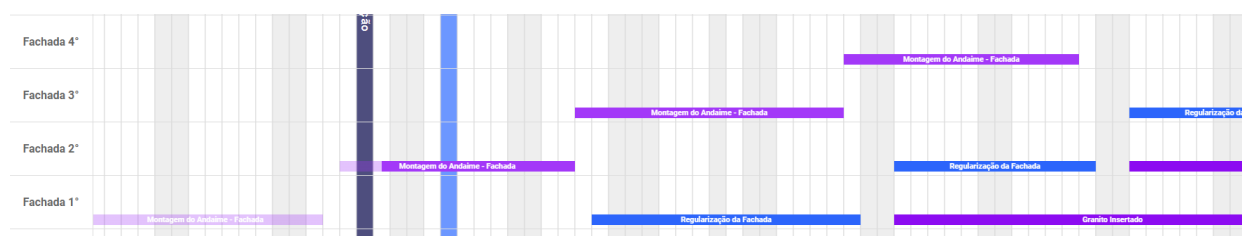


Figura 28 – Primeira Linha de Balanço da Fachada no *software Previson* utilizado pela incorporadora. (Fonte: Incorporadora)

A divisão inicial de lotes passou a não ser mais adequada ao andamento da obra, visto que a fachada lateral direita e parte das fachadas posterior e frontal não poderiam ser executadas junto ao restante da fachada. A falta do aterramento impediu que os andaimes fossem montados de forma contínua em todas as fachadas, travando a cadeia de atividades que acompanham subsequentemente.

Com a análise detalhada do processo de fachada, foi identificada uma deficiência no planejamento inicial, visto que as atividades e os tempos de execução necessitavam de uma reprogramação para também atender aos prazos estipulados pela obra. Por ser a primeira obra da incorporadora a executar lajes com acabamento em concreto aparente, houve a necessidade de se contratar uma empresa especializada do estado de São Paulo para executar esse serviço, colocando novas necessidades ao processo de fachada. Esse fato ocasionou o não atendimento da Primeira Linha de balanço ao escopo da obra, sendo necessária uma reprogramação das atividades.

Também foi identificada a necessidade de se executar uma impermeabilização nos avanços das lajes de concreto na parte interna, local que ficará exposto às intempéries. Dessa forma, é necessário adicionar a atividade de impermeabilização à Linha de Balanço.

O setor de planejamento da incorporadora traçou uma estratégia *Lean* para reestruturar a Linha de Balanço R01. A fachada foi dividida em mais lotes de serviços, sendo as fachadas posterior e frontal subdivididas em juntas, configurando assim seis lotes no total como exposto na Figura 29.

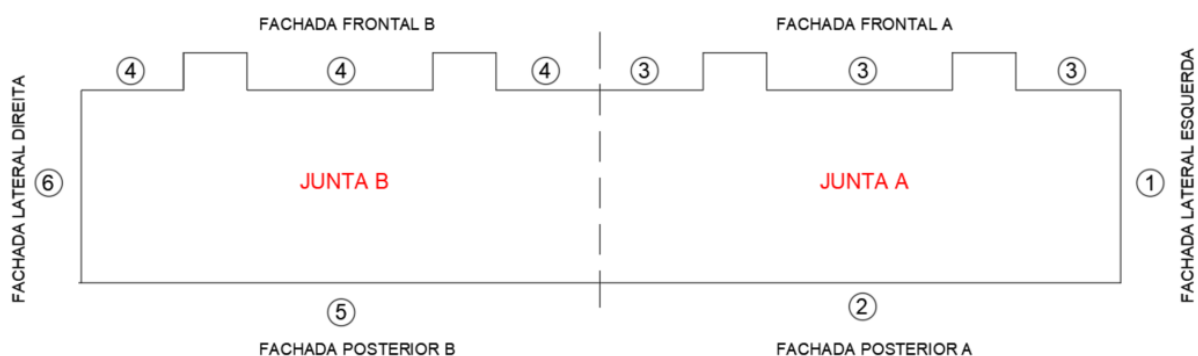


Figura 29 – Divisão dos Lotes – R01 (Fonte: Autora)

Uma segunda Linha de Balanço foi proposta pela Incorporadora, sendo a primeira reprogramação nomeada como “R01” neste trabalho. Essa Linha de Balanço pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 – Divisão de Lotes e Serviços na Segunda Linha de Balanço - R01 (Fonte: Autora)

Linha de Balanço - R01	
Lotes (6)	Fachada Direita
	Fachada Posterior B
	Fachada Frontal B
	Fachada Frontal A
	Fachada Posterior A
	Fachada Esquerda
Serviços (5)	Montagem dos Andaimos - Fachada
	Impermeabilização
	Tratamento de Concreto
	Granito Insertado
	Desmontagem dos Andaimos

Para gerar a Linha de Balanço “R01”, foram levantados quantitativos de produtividade já coletados pela incorporadora quanto aos serviços envolvidos na execução das fachadas de granito. A incorporadora ainda não realiza o acompanhamento diário dos serviços de Montagem e Desmontagem dos Andaimos e do serviço de Insertar os Granitos, porém os quantitativos de produtividade foram coletados com ajuda dos empreiteiros da obra. Todos os cinco serviços levantados foram registrados e as equipes foram definidas em reuniões de planejamento. Assim, uma nova Linha de Balanço foi gerada com quantitativos recalculados, podendo ser visualizada no Anexo B deste documento.

A Reprogramação “R01” permitiu uma divisão mais igualitária de lotes frente a Primeira Linha de Balanço, porém as regiões de ataque ainda não ficaram equivalentes, tornando os lotes 1 e 6 muito menores que os lotes 2, 3, 4 e 5. Esse fator levou à quantitativos de dias de trabalho distintos para cada lote e descompassos na Linha de Balanço, abrindo espaços e tempos ociosos entre as atividades como visualizado na Figura 30.

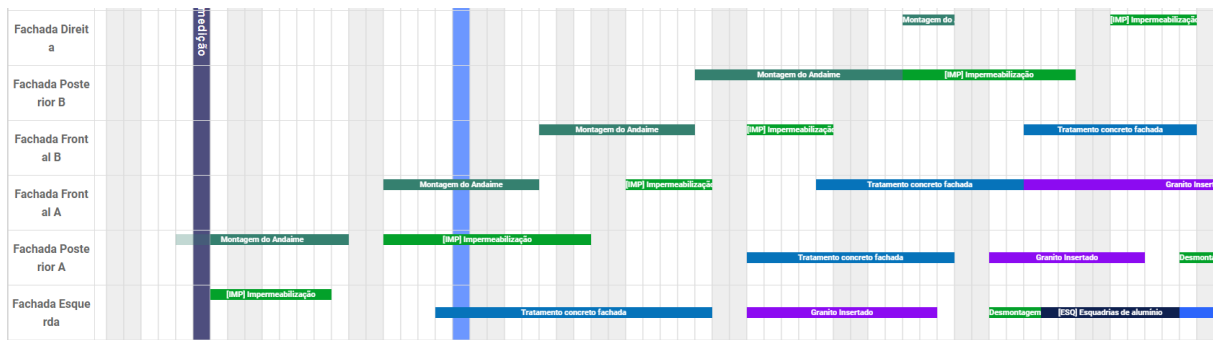


Figura 30 – Segunda Linha de Balanço no *software Prevision* utilizado pela incorporadora. (Fonte: Incorporadora)

Após análise detalhada da primeira reprogramação, o presente trabalho propõe uma nova reprogramação da Linha de Balanço com o intuito de compatibilizar os tamanhos dos lotes e balancear as equipes para melhor distribuição de atividades. Pretende-se obter melhorias no planejamento com base nas oito etapas propostas por Oliveira (2018) segundo princípios do *takt time*.

4.2.3 Estudo de caso: Proposta de melhoria da Linha de Balanço

Para gerar uma nova Linha de Balanço, a reprogramação seguiu oito etapas distintas, como proposto por Oliveira (2018).

1. Divisão em partes e definição do tamanho do lote

O primeiro questionamento para definição de lotes mais compatíveis é o fluxo de ataque. Com base nas atividades levantadas na Tabela 3, uma divisão por pavimentos não poderia ser feita, visto que a atividade de “Tratamento de Concreto” deveria ser realizada do pavimento superior ao inferior, uma vez que a operação suja demasiadamente os pavimentos inferiores. A atividade tem, portanto, um fluxo descendente, como também a atividade de “Desmontagem dos Andaimos”. As outras três atividades da Tabela 3 têm um fluxo ascendente, fator que causaria um descompasso na nova Linha de Balanço.

Portanto, os lotes deveriam ser divididos em faixas verticais de tamanhos semelhantes para que cada atividade pudesse ser compatibilizada com o fluxo de ataque. Propõe-se então uma nova configuração de lotes, apresentada na Figura 31. Foram contabilizados 22 lotes no total da segunda reprogramação, que será nomeada neste trabalho como “R02”.

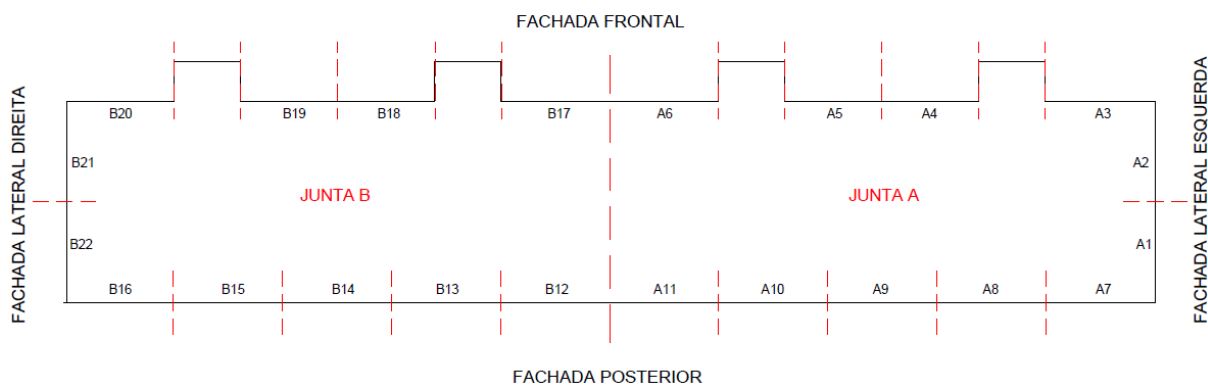


Figura 31 – Divisão dos Lotes R02 (Fonte: Autora)

2. Identificação do sentido construtivo

O sentido construtivo foi definido a partir das necessidades da obra. A Junta A foi escolhida para início do ataque das atividades, visto que possuía os serviços predecessores à Montagem dos Andaimas mais adiantados. Para garantir um fluxo de ataque otimizado, propõe-se a passagem das atividades do Lote A1 ao Lote B22 como exposto na Figura 32.

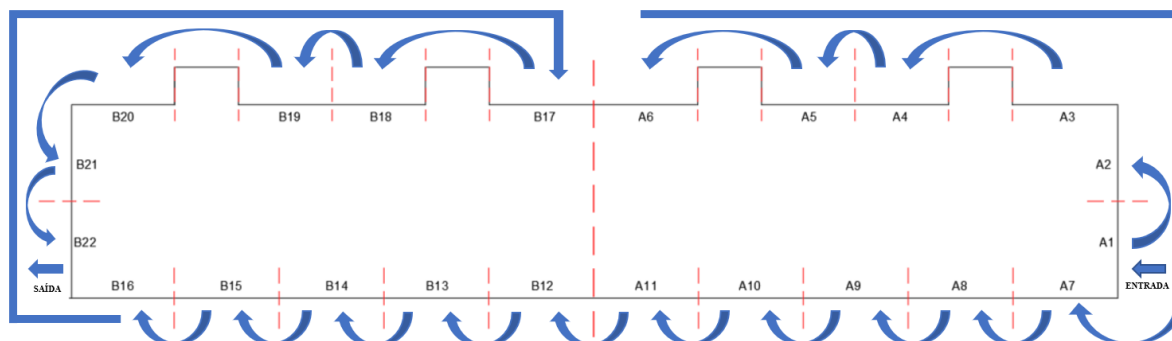


Figura 32 – Sentido construtivo proposto para a reprogramação R02 (Fonte: Autora)

3. Encadeamento das atividades

Uma mudança no sequenciamento das atividades foi feita no sentido de ataque da “Impermeabilização” e do “Tratamento do Concreto”. Com a análise de testes feitos na obra, a atividade de “Tratamento” gera dejetos e sujeiras nos avanços das lajes onde a Impermeabilização deve ser executada. Portanto, foi proposto que a Impermeabilização seja executada após o tratamento do concreto aparente para evitar retrabalhos e desperdícios como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Divisão de Lotes e Serviços na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora)

Linha de Balanço - R02		
Lotes (22)	A1	B12
	A2	B13
	A3	B14
	A4	B15
	A5	B16
	A6	B17
	A7	B18
	A8	B19
	A9	B20
	A10	B21
	A11	B22
Serviços (5)	Montagem dos Andaimos - Fachada	
	Tratamento de Concreto	
	Impermeabilização	
	Granito Insertado	
	Desmontagem dos Andaimos	

O sequenciamento das atividades pode ser visualizado na Figura 33, em que todas as atividades estão sequenciadas configurando um fluxo contínuo de ataque à obra.

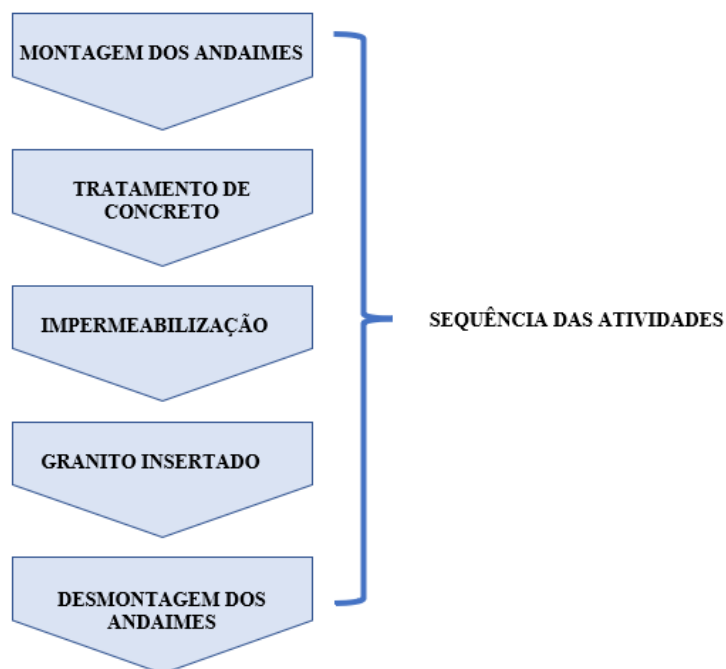


Figura 33 – Sequência de atividades (Fonte: Autora)

4. Definição do quantitativo

Para identificar os volumes de trabalho por lote, foi feito o levantamento completo de todas as metragens individualmente, e estes foram registrados na Tabela 5. As produtividades de cada atividade foram levantadas junto à equipe de execução da obra e junto aos dados já registrados pela incorporadora em seus bancos de dados. Como o prédio é simétrico em relação aos Lotes de trabalho, serão demonstradas as definições feitas para os Lotes da Junta A, que se aplicam igualmente aos Lotes da Junta B.

Tabela 5 – Definição dos quantitativos dos lotes na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora)

LOTE	Metragem Linear (m)	1.Montagem dos Andaimes (m ²)	2.Tratamento de Concreto (m ²)	3.Impermeabilização (m ²)	4.Granito Insetado (m ²)	5.Desmontagem dos Andaimes (m ²)
A1	7,75	201,5	52,39	4,65	55,101	201,5
A2	7,75	201,5	57,0544	5,064	43,8954	201,5
A3	8,44	219,44	50,6324	4,494	37,07	219,44
A4	7,49	194,74	50,6324	4,494	46,73	194,74
A5	7,49	194,74	56,3784	5,004	43,32	194,74
A6	8,34	216,84	56,784	5,04	28,58	216,84
A7	8,4	218,4	56,784	5,04	19,5	218,4
A8	8,4	218,4	56,784	5,04	19,5	218,4
A9	8,4	218,4	56,784	5,04	19,5	218,4
A10	8,4	218,4	56,784	5,04	19,5	218,4
A11	8,4	218,4	54,85	4,87	33,79	218,4
MÉDIA	8,1	210,98	55,1	4,9	33,3	210,98

5. Identificação das equipes mínimas

Foram definidas as equipes mínimas para execução de cada atividade na execução da Fachada, sabendo que uma equipe mínima é a menor combinação possível de colaboradores para executar uma atividade, podendo ser composta por uma, duas ou inúmeros trabalhadores, caso seja necessário. A Tabela 6 demonstra a necessidade de mais de um trabalhador para executar 80% dos serviços.

Tabela 6 - Definição das equipes mínimas na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora)

ATIVIDADE	EQUIPE MÍNIMA
1.Montagem dos Andaimes	2 ajudantes
2.Tratamento da Laje	2 profissionais
3.Impermeabilização	1 profissional
4.Granito Insertado	1 profissional 1 ajudante
5.Desmontagem dos Andaimes	2 ajudantes

6. Cálculo do *takt time*

A duração de cada operação foi calculada a partir da Equação 3, apresentada no Capítulo 2 desse trabalho. A jornada de trabalho diária foi calculada com a média de horas trabalhadas na empresa pelos dias da semana que são exigidos pela incorporadora, totalizando 9 horas diárias para cada trabalhador. A sigla “hh”, com significado de “homem hora”, foi utilizada para representar a quantidade de trabalho realizada por um trabalhador durante o período de uma hora. Com a definição das equipes mínimas no tópico anterior, pode-se registrar a duração de cada operação na Tabela 7.

Tabela 7 - Duração das atividades com equipes mínimas na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora)

ATIVIDADE	hh/m ²	Equipe Mínima (nº de trabalhadores)	Duração da Operação (dias)
1.Montagem dos Andaimes	0,29	2	4
2.Tratamento da Laje	1,76	2	6
3.Impermeabilização	0,22	1	3
4.Granito Insertado	1,17	2	3
5.Desmontagem dos Andaimes	0,29	2	4

Para o cálculo do *takt time*, foi levantado o prazo para conclusão da fachada insertada junto à engenharia da obra e o setor de planejamento da incorporadora. Entende-se que a fachada deve ser finalizada para que os serviços de esquadrias e acabamentos finais do prédio não sejam comprometidos, visto que estes serviços só devem ser iniciados após a finalização da fachada. Dessa forma, o prazo para conclusão foi definido como 4 meses, sendo contabilizados 96 dias produtivos.

$$Takt\ time = \frac{96\ dias}{22\ lotes + 5\ equipes - 1} = 3,69\ dias \quad \text{Equação 6}$$

Em um ajuste por dias completos de atividades, adotou-se o *takt time* de 3 dias de execução para que todas as atividades fossem finalizadas no tempo estipulado. Pode-se então desenvolver um gráfico que demonstrasse as diferenças de tempos de ciclo sem ajuste de equipes, visualizado na Figura 34.

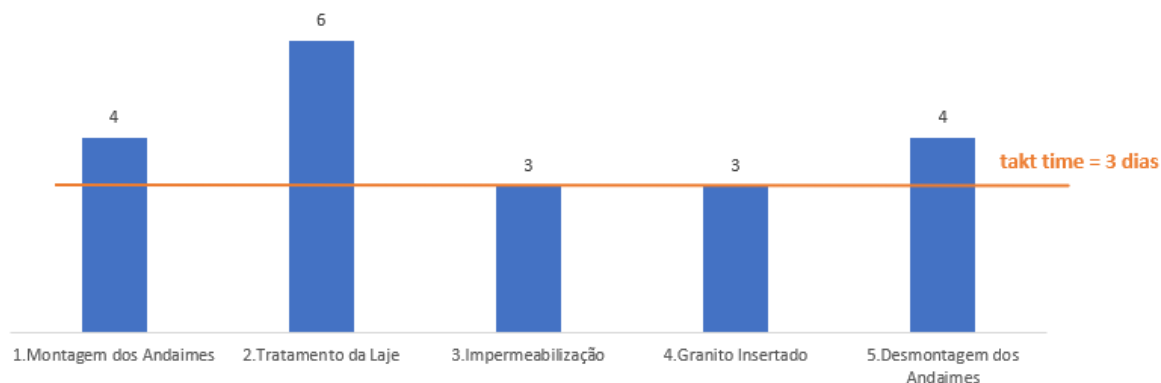


Figura 34 – Tempo da equipe mínima para execução de 1 lote (Fonte: Autora)

7. Ajuste das equipes por atividade

Com a análise do Gráfico da Figura 34, é visível que três das cinco atividades necessárias para se executar a fachada estavam acima do tempo *takt* calculado, portanto, é necessário que se façam ajustes nas equipes para que todas as atividades fiquem próximas ao *takt time*. O ajuste garantirá que as operações sejam executadas cadenciadamente, implantando um ritmo de trabalho contínuo na obra.

Tabela 8 - Duração das atividades na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora)

ATIVIDADE	hh/m ²	Equipe Mínima (n° trabalhadores)	Duração da Operação (dias)	Equipe Ajustada (n° de trabalhadores)	Duração da Operação (dias)
1. Montagem dos Andaimes	0,29	2	4	3	3
2. Tratamento da Laje	1,76	2	6	4	3
3. Impermeabilização	0,22	1	3	1	3
4. Granito Insertado	1,17	2	3	2	3
5. Desmontagem dos Andaimes	0,29	2	4	3	3

É possível visualizar na Tabela 8 que as atividades de “Montagem dos Andaimes” e “Desmontagem dos Andaimes” podem ser executadas em três dias com o aumento da equipe

para três pessoas. A equipe de “Tratamento da Laje”, para ser compatibilizada com o tempo *takt*, deve ser dobrada e a atividade de “Impermeabilização” e “Granito Insertado” não precisariam de alteração nas equipes, visto que já estavam dentro do tempo *takt* calculado. A atividade de “Impermeabilização” possui a particularidade de exigir três dias para sua conclusão, visto que são necessárias três demãos do impermeabilizante no substrato aplicado. Com as equipes ajustadas, pode-se traçar um novo gráfico, segundo a Figura 35, que demonstra a compatibilização de todas as atividades com o tempo *takt* calculado.

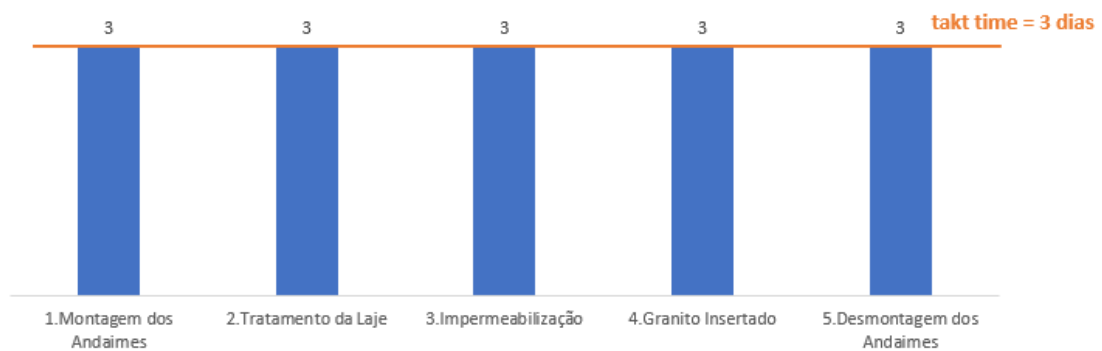


Figura 35 – Equipes ajustadas ao *takt time* (Fonte: Autora)

8. Elaboração da programação.

Após calculado o *takt time* e definição das equipes, pode-se traçar a nova Linha de Balanço proposta por esse trabalho. A elaboração da programação é a última etapa proposta por Oliveira (2018), tendo o objetivo de transferir as informações geradas nos tópicos anteriores para um gráfico que seja visual e didático.

Em um primeiro momento, a Linha de Balanço R02 foi gerada de forma linear para comparação direta de dias produtivos, podendo ser visualizada na Figura 36. Para se plotar a Linha de Balanço, os serviços foram divididos em cores distintas para facilitar a identificação visual das atividades, segundo a Tabela 9.

Tabela 9 – Identificação de cores das atividades na Segunda Reprogramação - R02 (Fonte: Autora)

MA	1.Montagem dos Andaimos
TJ	2.Tratamento da Laje
IMP	3.Impermeabilização
GI	4.Granito Insertado
DA	5.Desmontagem dos Andaimos

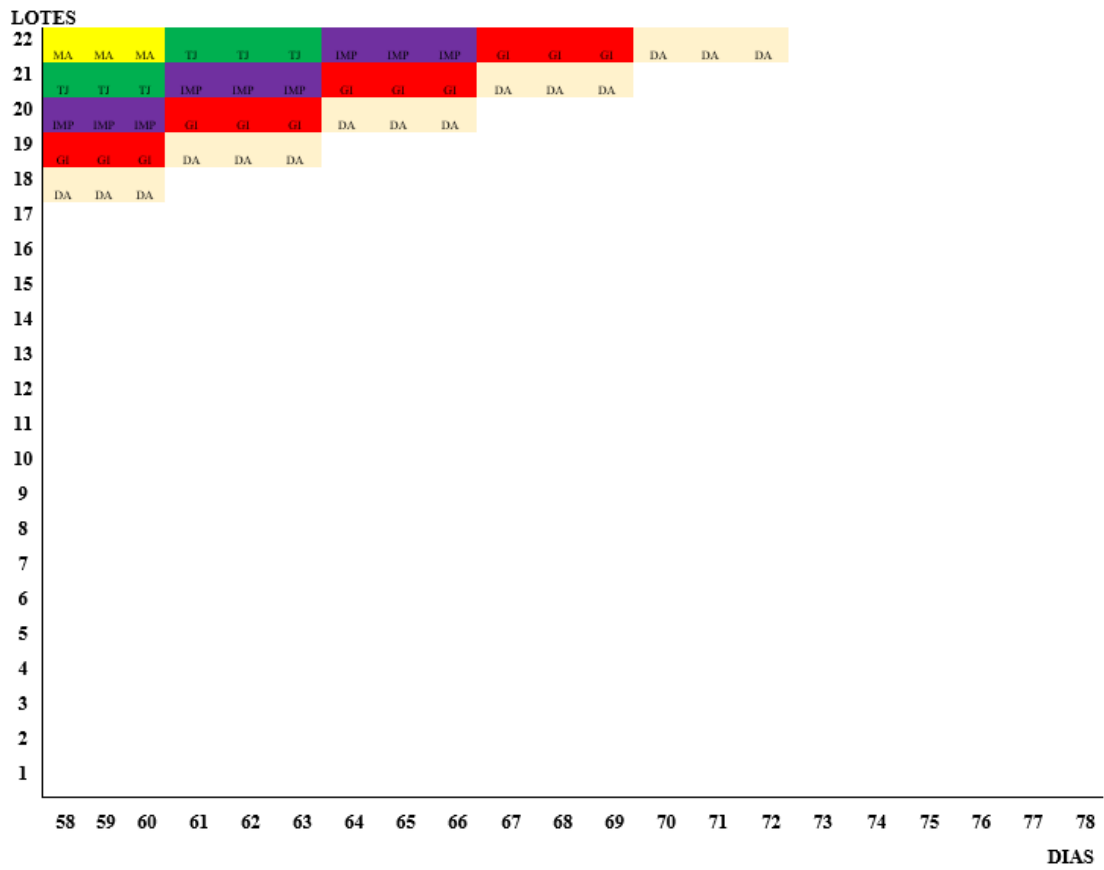


Figura 36 – Linha de Balanço da Reprogramação R02 (Fonte: Autora)

4.2.4 Considerações dos Resultados Obtidos Com Análise Sistemática da Primeira Obra

Com o acompanhamento dos serviços que envolvem a produção de uma fachada de um edifício, pode-se coletar dados que contribuíssem para a formulação de um Mapa de Fluxo de Valor do processo de execução de fachadas com granitos insertados. Dentro do ambiente da construção, torna-se difícil escolher uma família de produtos como é estipulado nas etapas propostas por Rother & Shook (2003), uma vez que, comumente, os empreendimentos da construção civil são compostos por vários subprodutos que passam por etapas bem diferentes. Assim, é possível determinar para o foco da análise um produto ou processo, que nesse trabalho é a execução da fachada.

A definição do PCP (Planejamento e Controle da Produção) inicia o mapeamento do fluxo de valor, que é feito atualmente pela engenharia da obra. A entrega do empreendimento para o cliente é o objetivo final do processo, admitindo-se que o cliente faça a requisição do serviço de execução da fachada com a compra de algum apartamento e sabendo-se que a fachada deve ser um serviço finalizado na entrega do edifício.

Com a análise da primeira obra, pode-se identificar etapas que geram estoques e a dependência das atividades que compõe o processo. Com base nos princípios do Diagrama Espaguete, foi possível visualizar a movimentação dos trabalhadores durante a execução da fachada, buscando entender a eficácia do *layout* atual do espaço em estudo.

A entrega dos materiais gera o primeiro estoque do processo, podendo ser visualizado na Figura 21 do Capítulo 4. Após a furação das peças, elas continuam formando estoques no centro de furação da obra, demonstrando uma grande concentração de granitos que são estocados até suas utilizações. Com a observação do transporte das peças de granito pela obra, pode-se compreender que algumas movimentações poderiam ser otimizadas, caso fossem utilizados meios de transporte mais eficientes. A análise se deu com base no terceiro princípio que norteia a criação do Diagrama Espaguete, pedindo a verificação do deslocamento dos funcionários, materiais e equipamentos por uma obra.

Também foi observado que a requisição dos insertos e chumbadores ocorria de forma exagerada e não controlada, também gerando estoques no processo de execução da fachada. Como proposta de melhoria poderiam ser criados kits de separação de materiais que

garantissem a aplicação correta dos elementos transportados diariamente pelos instaladores de granito.

Ao fazer a análise sistemática da cadeia de atividades que envolvem a produção de fachadas com insertos, pode-se desenvolver uma comparação dos processos com os desperdícios identificados por Ohno. Pode-se relacionar os principais desperdícios do processo de execução das fachadas com os desperdícios identificados por Ohno na Tabela 10, sendo pontos de interferência e melhoria para a construtora.

Com o entendimento dos passos que geram desperdícios em um processo, pode-se melhorar toda a cadeia produtiva com a eliminação de etapas que não agregam valor às atividades. Propõe-se algumas melhorias para os desperdícios visualizados, sendo estes registrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Relação dos problemas identificados no trabalho e desperdícios propostos por Taiichi Ohno.

Desperdício proposto por Taiichi Ohno	Desperdícios Identificados na Obra	Proposta de Melhoria
Desperdício de superprodução	<ul style="list-style-type: none"> • Montagem excessiva de insertos metálicos, que são transportados pelo canteiro sem controle prévio de quantidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de kits de utilização com quantidades de insertos separadas por lotes.
Desperdício em transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Pallets de granito são desmontados na cremalheira e são transportadas peça por peça para seu interior; • Transporte unitário de peças para a área de descarga; • Transporte unitário de peças pelos apartamentos para o local de instalação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de um meio de transporte que consiga transportar as peças de granito desde o centro de furação até o local de instalação das peças de forma contínua, sem interrupções e tombos desnecessários.
Desperdício do processamento em si	<ul style="list-style-type: none"> • Apoio das peças de granito no contramarco, causando danificação das peças metálicas; • Execução de “coxins” na fachada poderia ser evitada pela compatibilização do projeto de vedação e o projeto de revestimento de fachada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilização prévia de projetos com previsão de estruturas de ancoragem para os chumbadores.

4.2.5 Considerações feitas com a Reprogramação “R02”

A partir de conceitos embasados na filosofia *Lean*, pode-se traçar uma nova Linha de Balanço para uma obra que executará sua fachada com granitos insertados. Com a reprogramação proposta por esse trabalho, o tempo total de execução dos 22 lotes definidos seria de 78 dias contínuos, analisando a finalização de todos os serviços pela Linha de Balanço da Figura 39. Para comparação direta com a Linha de Balanço “R01”, plota-se também essa programação de forma contínua, podendo ser visualizada na Figura 38. Em uma análise direta com relação a Reprogramação “R01”, temos um ganho de 6 dias de execução, visto que a Linha de Balanço “R01” possui 84 dias de serviço.

Além do ganho em dias, pode-se notar que as atividades na Segunda Reprogramação possuem um ritmo contínuo de ataque, garantindo a continuidade dos serviços e uma estrutura sólida de atividades. A Primeira reprogramação levou a um descompasso de atividades em função dos lotes possuírem tamanhos diferentes e equipes variadas. A geração de tempos ociosos e desperdícios de espera na Primeira Reprogramação demonstram a necessidade de ajustes para compatibilização dos tempos, trabalho esse executado na Reprogramação R02 com base nos oito princípios propostos por Oliveira (2018).

Com base no *Just in Time* (JIT), em que cada processo de um sistema de produção deve seguir um fluxo contínuo e ser abastecido com a quantidade correta de itens, disponibilizados no lugar e na hora certa, é notório que a reprogramação posposta pelo trabalho garante um fluxo contínuo de atividades.

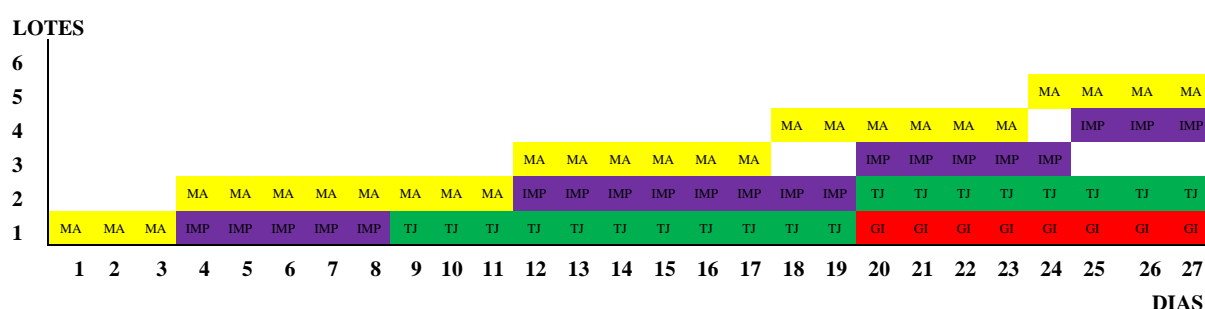


Figura 37 – Linha de Balanço dos 27 dias iniciais da Reprogramação “R01”. (Fonte: Autora)

A identificação de espaços “vazios” na Linha de Balanço R01 pode ser identificada visualmente na Figura 37, que mostra os 27 primeiros dias de planejamento da execução da Fachada em uma análise contínua de atividades. Com análise das Figuras 39 e 40, pode-se

identificar visualmente o ganho em dias produtivos com a Reprogramação proposta pelo trabalho.

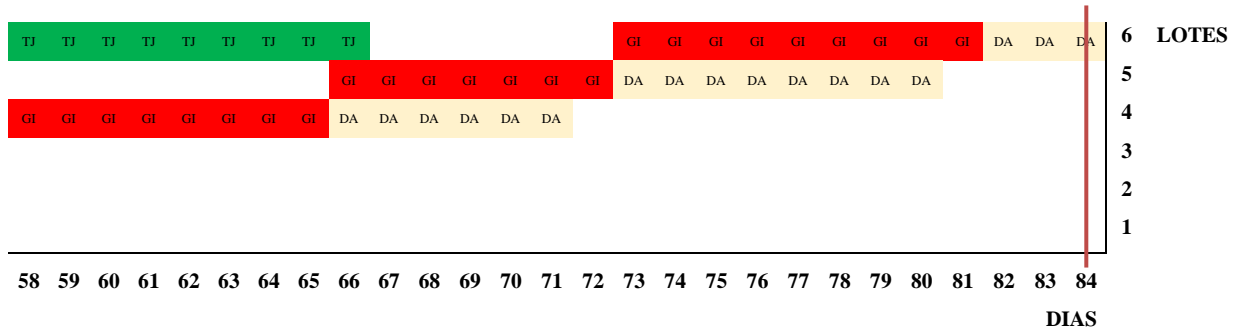


Figura 38 – Linha de Balanço dos 27 dias finais da Reprogramação R01 (Fonte: Autora)

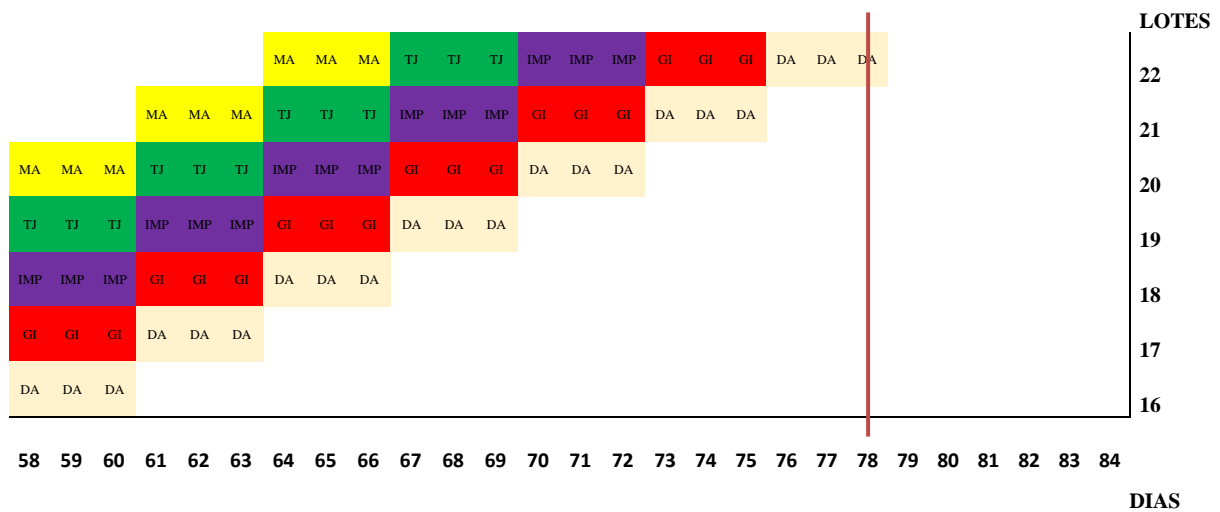


Figura 39 – Linha de Balanço dos 27 dias finais da Reprogramação R02 (Fonte: Autora)

Para fazer uma comparação com a Linha de Balanço “R01”, gerada pela Incorporadora no *software Previson*, visualizada no Anexo B deste documento, a Linha de Balanço “R02” também foi lançada no software seguindo a metodologia da empresa. Com a inserção dos dados calculados no trabalho, referentes ao tempo *takt*, pode-se obter um ganho considerável de dias na programação “R02”.

O *Prevision* possui a particularidade de exibir os cronogramas inseridos no *software* de forma otimizada, considerando datas comemorativas e feriados na programação geral das atividades. Essa particularidade permite que o usuário do programa consiga ter uma noção fiel da execução das atividades durante a obra, já contabilizando perdas e dias não úteis. Para se ter possibilidade de comparação, a Linha de Balanço “R02” foi iniciada na mesma data de início da Linha “R01”, revelando uma redução de 26 dias úteis de trabalho e de 36 dias corridos, segundo Tabela 11. No Apêndice A do documento é possível visualizar toda a Linha de Balanço “R02” no *software Prevision*.

Tabela 11 – Duração das atividades das Linhas de Balanço analisadas no trabalho (Fonte: Autora)

PROGRAMAÇÃO	Data de Início	Data de Término
Linha de Balanço R01	21/03/2022	11/08/2022
Linha de Balanço R02	21/03/2022	06/07/2022

Para uma análise mais apurada, entre a data de início da Linha de Balanço R01 e a data de término, existem 143 dias corridos, 100 dias úteis, 40 dias que representam finais de semana e 3 dias que representam feriados em dias de semana. Com relação à Linha de Balanço R02, existem 107 dias corridos, 74 dias úteis, 30 dias que representam finais de semana e 3 dias que representam feriados em dias de semana, entre a data de início e término da Linha de Balanço. A Tabela 12 mostra os quantitativos referentes aos dias úteis, finais de semana e feriados entre as datas de início e término das Linhas de Balanço R01 e R02, atestando o ganho considerável de 26 dias úteis.

Tabela 12 – Durações das Linhas de Balanço R01 e R02 (Fonte: Autora)

	LOB R01 (dias)	LOB R02 (dias)
Dias Totais	143	107
Dias Úteis	100	74
Finais de Semana	40	30
Feriados em Dias de Semana	3	3

É notório o ganho de produtividade e a redução do *lead time* do processo geral de execução de fachadas com granitos inseridos com o desenvolvimento do trabalho. Em uma comparação direta em dias produtivos, a metodologia proposta já revela ganhos em comparação ao planejamento inicial da incorporadora. Quando contabilizado os dias não úteis, o trabalho

revela ganhos ainda maiores, visto que a Linha de Balanço propaga as decisões tomadas por todo tempo construtivo.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO E PROPOSTA DE PESQUISAS FUTURAS

Com a aplicação de metodologias, *Lean* foi possível reprogramar o planejamento de ataque da fachada de um edifício em Brasília, passando desde a divisão de atividades até a definição do ritmo com quantificação de equipes de serviço. Com o ganho de dias de produção conseguido com a reprogramação, entende-se que a pesquisa traz valor ao contexto da construção enxuta, apontando os principais desperdícios no processo de execução de fachada e propondo melhorias para obras futuras.

5.1 CONCLUSÃO SOBRE A PROPOSTA DA PESQUISA

1. Realizar uma pesquisa exploratória a respeito de princípios da filosofia enxuta e como estes podem ser utilizados em processos construtivos;

A partir da pesquisa exploratória desenvolvida no início do trabalho, pode-se definir quais conceitos seriam utilizados para facilitar a análise e o desenvolvimento da pesquisa. Conclui-se que é essencial a definição clara das metodologias que serão utilizadas, para posteriormente não gerarem dúvidas e retrabalhos.

Os princípios da filosofia *Lean* foram utilizados para especificar o valor do serviço de execução da fachada, que está relacionado à entrega do empreendimento com excelência e qualidade de execução. Com a identificação da cadeia de valor do processo foram identificadas atividades agregadoras e não agregadoras de valor, possibilitando a identificação de passos deficientes em cada atividade.

2. Elencar desperdícios no processo de execução de fachada em uma construtora de Brasília e analisar como princípios da construção enxuta podem ser utilizados para mitigar os desperdícios levantados e como eles podem influenciar no planejamento da obra;

Com o conhecimento do processo de execução de uma atividade, pode-se analisar profundamente os passos que geram desperdícios e retrabalhos no processo. Com a análise sistemática da forma de construção da incorporadora, pode-se destacar desperdícios encontrados no processo e propor melhorias que podem ser implementadas em obras futuras da empresa.

Destaca-se que, com a análise da primeira obra, foram identificados desperdícios de superprodução, desperdícios em transporte e desperdícios do processamento em si, classificação utilizada por Taichii Ohno para distinguir com clareza as atividades em um planejamento. Os itens levantados no trabalho foram identificados com análises sucessivas do método construtivo das fachadas na incorporadora, atividade que deve ser realizada para melhoria de atividades em qualquer setor.

Com a Especificação do Valor e a Identificação do Fluxo de Valor na execução da fachada com granitos inseridos, pode-se definir os desperdícios identificados nos processos e propor melhorias para que os desperdícios fossem sucessivamente mitigados.

3. Quantificar o ganho de dias de produção com a aplicação da metodologia enxuta no planejamento em uma obra em Brasília.

Com o desenvolvimento da metodologia proposta por Oliveira (2018), pode-se gerar uma nova Linha de Balanço para a execução da fachada com insertos metálicos e comprovar, em uma análise contínua, que a aplicação do *takt time* é de extrema importância para o planejamento de uma obra, não só para o ganho de tempo no cronograma, mas também para garantir o fluxo ritmado das atividades.

Diante dos onze princípios relatados por Koskela (1992), entende-se que o trabalho procurou reduzir a variabilidade dos lotes e reduzir o tempo de ciclo da produção para gerar uma Linha de Balanço otimizada e fluida.

Analisando-se o tempo total de execução, utilizando-se o software *Prevision* para ajustar a linha de balanço ao calendário civil, e eliminando-se o descompasso da Linha de Balanço “R01”, obtém-se uma redução de 26 dias úteis no cronograma, representando uma redução de 26% no esforço total de produção, com reflexos a serem computados nos custos diretos da obra. Do ponto de vista do *Lead Time*, verifica-se uma redução de 36 dias corridos correspondendo a um ganho de 25,17% no *lead time* da execução da fachada em relação à programação anterior. A redução do *lead time* não só agrega valor à execução do edifício, como tem impacto nos custos indiretos da obra.

O ganho de dias produtivos revela-se como um forte fator de intervenção no planejamento, visto que cada dia de produção representa um grande montante no orçamento de uma obra.

Cada dia de trabalho representa um custo com trabalhadores, encargos e aluguel de equipamentos, valor este que pode ser minimizado adotando metodologias *lean* que otimizem os processos como demonstrado no trabalho. Como a análise de custos foge ao escopo deste trabalho não foi calculado o impacto financeiro das melhorias propostas.

Para garantia do funcionamento do planejamento ritmado proposto, é necessário que estratégias de melhoria contínua sejam adotadas pela empresa. Assim como na implantação do Sistema Toyota de Produção, o conceito *kaizen* é de extrema importância para perpetuação dos resultados. *Kaizen* está relacionado à garantia da máxima qualidade, eliminação constante de desperdícios e melhorias na eficiência.

Outras ferramentas *lean* podem ser utilizadas para garantia de execução do planejamento, como o *Kanban*, que é um cartão visual que sinaliza as necessidades da linha de produtora para garantir uma produção puxada; e o *Andon*, sinalizador que demonstre algum problema durante a execução de uma atividade. As duas ferramentas podem ser utilizadas no processo de execução da fachada para minimizar erros sucessivos e desperdícios de tempo e trabalho.

5.2 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Após identificar os problemas e desperdícios do processo de execução da fachada com insertos metálicos e propor uma reprogramação da Linha de Balanço em uma obra, é de extrema relevância o acompanhamento da execução dos serviços mapeados para garantir que o planejamento seja seguido e entendido por todos os colaboradores.

Como recomendações para trabalhos futuros pode-se estruturar uma rede de acompanhamento de atividades e levantamento de dados que completem e afirmem os valores de produtividades utilizados no trabalho. A realização de análises multimomento e produção de diagramas espaguete são ferramentas que podem ser utilizadas para quantificar valores de produtividade e deslocamentos pelo canteiro, a fim de encontrar melhorias em trabalhos futuros.

Sugere-se também o desenvolvimento de um indicador de fachadas que possa ser utilizado em obras posteriores. É importante salientar que a empresa possui majoritariamente fachadas executadas com a metodologia de insertos metálicos em Brasília, possuindo outras obras além das analisadas neste projeto. Dessa forma, a metodologia desenvolvida pode ser utilizada para otimizar a execução da fachada em obras posteriores e nortear a aplicação do *takt time*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. E. S.; MILEO, S. G. **Planejamento para Redução de Perdas na Construção Civil**. Revista Científica Universitária, Centro Universitário de Itajubá – FEPI, v. 3, n. 2, 2016.

ANTONIAZZI, R. P. **Fachadas de revestimento não aderido composto por rochas ornamentais: descrição, execução e dimensionamento**. Monografia de Projeto Final da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

ARANTES, P. C. F. G. **Lean Construction – Filosofia e Metodologias**. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

ARTO, J. R. V. **Fundamentos Del Lean Manufacturing – Direccions de Operaciones**. Madrid, España: EOI - Escuela de Organizacion Industrial, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14827 – Chumbadores instalados em elementos de concreto ou alvenaria – Determinação de resistência à tração e ao cisalhamento**. Rio de Janeiro: Brasil. ABNT. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845-1 – Rochas para revestimento - Parte 1: Análise petrográfica**. Rio de Janeiro: Brasil. ABNT. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15846 – Rochas para revestimento – Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos**. Rio de Janeiro: Brasil. ABNT. 2010.

BARCELOS, I. S. M. **Estudo da aceitabilidade das ferramentas da construção enxuta e seus respectivos resultados em um canteiro de obra de uma micro construtora**. Monografia de Projeto Final submetida ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, 2021.

ANCORA. **Catálogo Técnico Âncora Sistemas de Fixação**, São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://ancora.com.br/downloads/catalogo/catalogoancora.pdf>>. Acesso em: 4 de outubro de 2021.

CEOTTO L. H., BANDUK R. C., NAKAKURA E. H. **Revestimentos de Argamassas: Boas Práticas em Projeto, Execução e Avaliação**. Recomendações Técnicas Habitaré, Porto Alegre, v. 1, 96p. 2005.

FAGUNDES, E.; FEIJÓ, C. C. O.; SANTOS, M. I.; LUZ, E. M. **Como Reduzir ou Eliminar Atividades que não Agregam Valor em uma Organização**. Visão, Caçador – Santa Catarina, v. 2, p. 121-140, 2018.

FRANCO, S. F. **Racionalização construtiva inovação tecnológica e pesquisas**. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996 e 2000.

FRANDSON, A.; BERGHEDE, K.; TOMMELEIN, I. **Takt time planning for construction of exterior cladding**. Fortaleza, Brasil: Proc 21st Annual Conference of the Internation Group for Lean Construction (IGLC21), 2013.

FREITAS, E.B. **Diagrama Espaguete**. Blog Engenharia de produção, V5, 2013. Disponível em: <http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com.br/2013/03/diagrama-de-espaguetespaghetti_10.html>. Acesso em: 30 de outubro de 2021.

GREGOLIS, C. D. **Proposta de Implantação de Lean Construction em um Empreendimento Residencial**. Monografia de Projeto Final da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

ICHIHARA, J. de A. **A Base Filosófica da Linha de Balanço**. São Paulo, 1997. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENESEP1997_T3105.PDF>. Acesso em: 30 de outubro de 2021.

JEHA, B. M.; CARVARVALHO, M. T. M. **Criação de uma Ferramenta Computacional para Controle de Atividades de Curto Prazo**. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Universidade de Brasília (UnB), Revista de Ciência e Tecnologia v.2 n.3, 2016.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford, EUA, CIFE, 1992.

MADERS, B. **Técnica de Programação e Controle da Construção Repetitiva – Linha de Balanço, Estudo de Caso de um Conjunto Habitacional**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1987.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. Editora Pini Ltda, 1ª ed, São Paulo, 2010.

MAZIERO, L. T. P. **Aplicação do Conceito do Método da Linha de Balanço no Planejamento de obras Repetitivas. Um levantamento das decisões Fundamentais para sua Aplicação**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990.

MENEZES, M. E. **Melhoria do Desempenho na Secção de *brainding* usando princípios Lean Thinking e Manutenção Produtiva Total numa empresa de produção de cablagens**. Dissertação de mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade do Minho, 2019.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. IMAM, São Paulo, SP, Brasil, 1984.

MOREIRAS, S. T. F. **Estudo sobre o Revestimento de Fachadas de Edifícios Altos com Placas de Granitos Ornamentais**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MOSSMANN, P. **Estudo comparativo da utilização de plataforma cremalheira e balancim elétrico para execução de revestimento exterior de argamassa**. Monografia de Projeto Final da Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção, Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVEIRA, L. A. **Metodologia para Desenvolvimento de Projetos de Fachadas Leves**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009

OLIVEIRA, E. H. **Lean Construction O Princípio do Takt**. Mogi das Cruzes: Editor autor, 2018. ISBN 978-17-288-7587-3

O que é a Linha de Balanço. Prevision, 2020. Disponível em: <<https://www.prevision.com.br/blog/linha-de-balanco-o-que-e/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2021.

PRADO, R. L.; **Aplicação e Acompanhamento da Programação de Obras em Edifícios de Múltiplos Pavimentos Utilizando a Técnica da Linha de Balanço**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

QUETZ, J. S.; DANTAS, I. F.; HIRTH, C. G.; BRASIL, C. G.; JUAÇABA, S. F. **Preliminary results of Lean method implementation in a pathology lab from Northeastern Brazil**. Article in Jornal Brasileiro de Patologias e Medicina Laboratorial, 2015.

QUETZ, J. S. **Diagram-A-Spaghetti-diagram**: disponível em < www.researchgate.net/figure/Walking-pattern-of-the-employees-at-PL-ICCSpaghetti-diagram-A-Spaghetti-diagram-of_fig1_276025185 > autor Josiane da Silva Quetz 2015. Acesso em: 30 de outubro de 2021.

RAMOS, M. Z. R. G.; **Sincronização da Cadeia de Valor através da Integração da Teoria das Restrições e Produção Lean**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica e Industrial, Universidade Nova de Lisboa, 2010.

RODRIGUES, P. B de F. et al. **Uma proposta de integração do modelo BIM ao sistema last planner**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 301-317, 2018.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to see: Value-Stream Mapping To Create Value and Eliminate Muda**. Lean Enterprise Institute, version 1.4, 2003.

SHOOK, Y. **Bringing the Toyota Production System to the United States: A Personal Perspective**. LIKER, J. (org.): Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers. Productivity, Portland, EUA, 1998.

SILVA, R. R. L. **Construção Predial Lean – Mapeamento da Cadeia de Valor das Estruturas Metálicas**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2005.

TOMAZ, J. G. **Utilização de Mapeamento de Fluxo de Valor para Melhoria de Processo em uma Empresa do Setor Farmacêutico**. Monografia de Projeto Final da Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019.

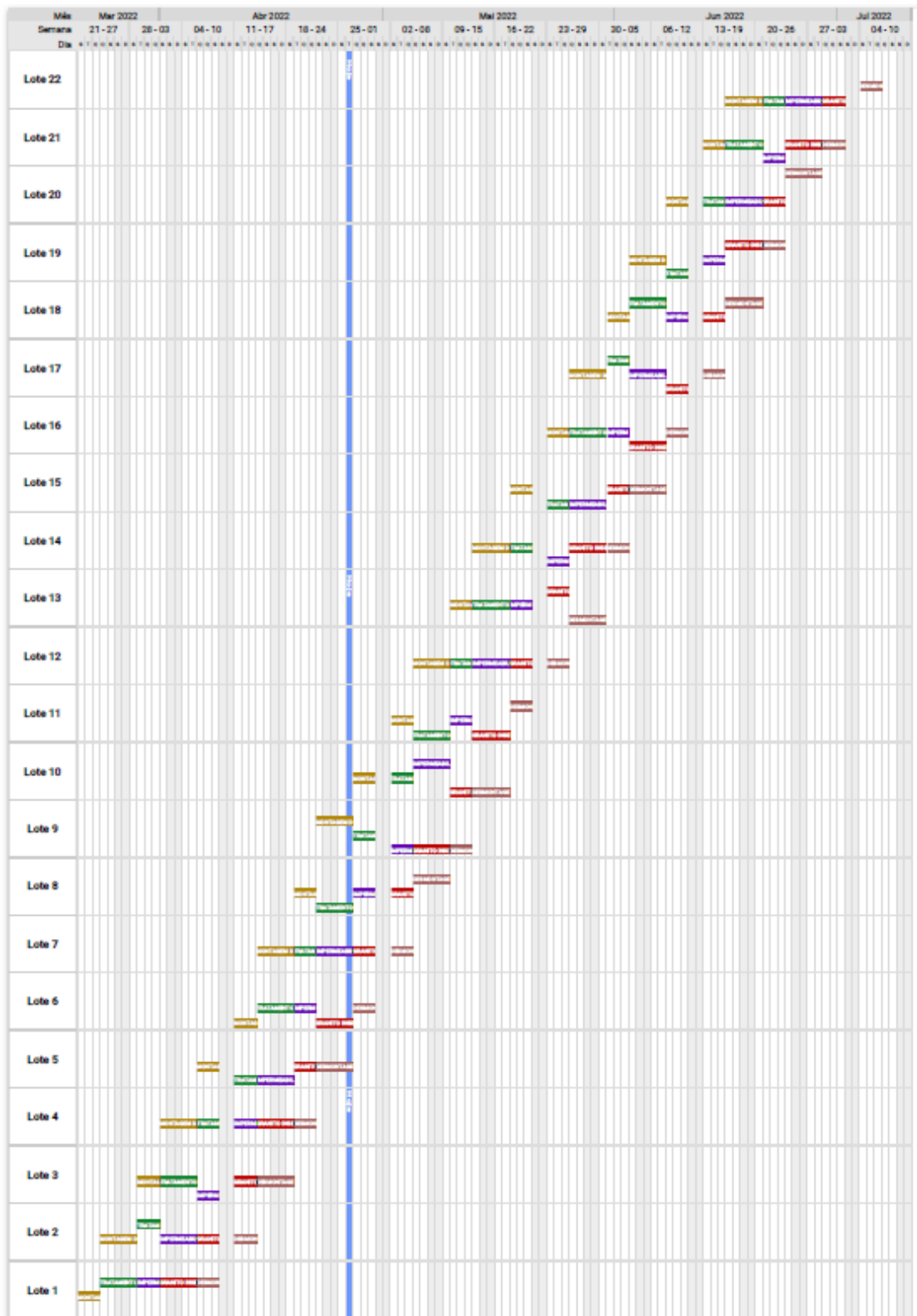
VEDOVELLO, C. A. S. **Gestão de Projetos de Fachadas**. Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

VIEIRA, M. G. **Aplicação do Mapeamento de Fluxo de Valor para Avaliação de um Sistema de Produção**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking: Banish Waste and Create WEALTH IN YOUR Corporation**. New York: Simon and Schuster, 1996.

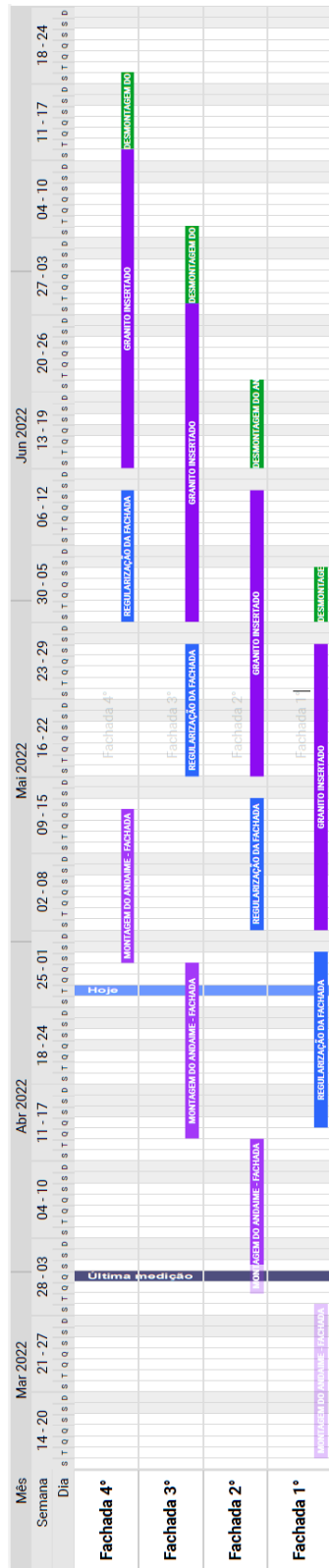
WOMACK, J. P.; JONES D. T.; ROOS, D. **The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production.** Harper Collins Publishers, New York, 323p, 1990.

APÊNDICE A – LINHA DE BALANÇO “R02”



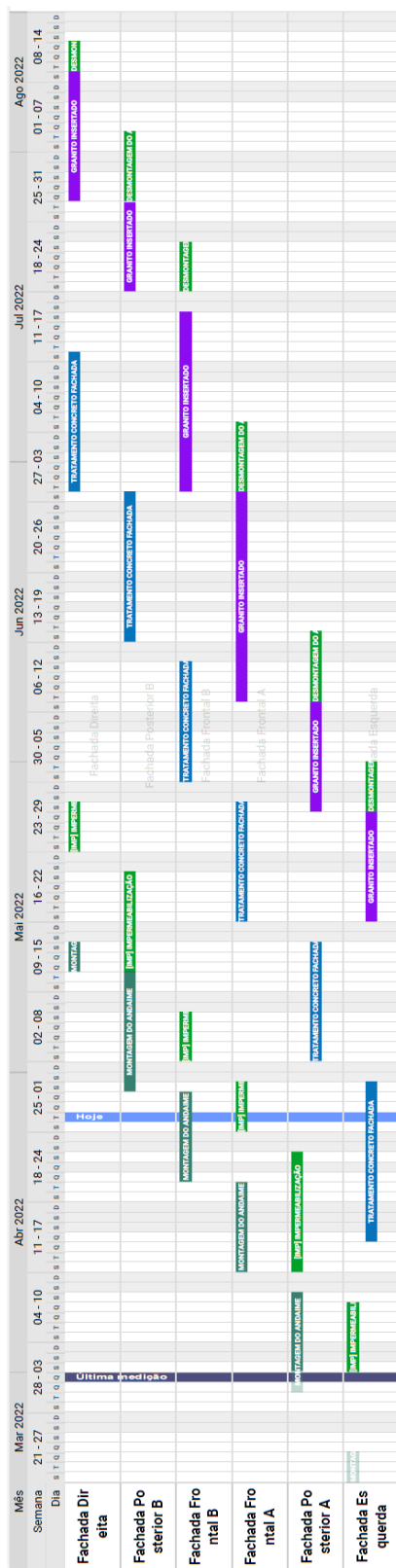
Fonte: Autora

ANEXO A – LINHA DE BALANÇO INICIAL “R00”



Fonte: Incorporadora

ANEXO B – LINHA DE BALANÇO “R01” DA PRIMEIRA REPROGRAMAÇÃO



Fonte: Incorporadora