



Centro Universitário de Brasília - UniCEUB

Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas

Curso de Engenharia Civil

MURILLO MENDES MANENTE

LEAN CONSTRUCTION: PRINCÍPIOS E METODOLOGIAS
APLICADOS NUM ESTUDO DE CASO

BRASÍLIA

2016

MURILLO MENDES MANENTE

LEAN CONSTRUCTION: PRINCÍPIOS E METODOLOGIAS
APLICADOS NUM ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada como requisito
para conclusão do curso de Engenharia
Civil pela Faculdade de Tecnologia e
Ciências Sociais Aplicadas do Centro
Universitário de Brasília – UniCEUB
Orientador: Nivaldo Lima da Silva Júnior

BRASÍLIA

2016

MURILLO MENDES MANENTE

***LEAN CONSTRUCTION: PRINCÍPIOS E METODOLOGIAS
APLICADOS NUM ESTUDO DE CASO***

Monografia apresentada como requisito
para conclusão do curso de Engenharia
Civil pela Faculdade de Tecnologia e
Ciências Sociais Aplicadas do Centro
Universitário de Brasília – UniCEUB
Orientador: Nivaldo Lima da Silva Júnior

Brasília, 20 de junho 2016

Banca Examinadora

Prof. Nivaldo Lima da Silva Júnior, MSc
Orientador

Prof. Jocinez Nogueira Lima, MSc
Examinador Interno

Prof. Fábio Rogrigues Andrade, DSc
Examinador Externo

RESUMO

A construção no Brasil encontra-se numa fase de adaptação à nova realidade econômica, sendo fundamental a busca de novos mecanismos de produtividade que permitam a sobrevivência das empresas. O uso de novas ferramentas e métodos de controle é a opção lógica para se destacar no mercado da construção. Foi com essa intenção que a *Lean Construction* foi criada, visando levar a construção civil ao desenvolvimento com ganhos de eficiência e produtividade. Neste trabalho são apresentados e explicados os princípios, conceitos, fundamentos e ferramentas dessa filosofia, com intenção de melhorar os processos das empresas do ramo. Para demonstrar a aplicação e os ganhos do método, na segunda parte do trabalho faz-se um estudo de caso em uma obra vertical no Setor Comercial Norte, em Brasília.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento de obras, *Lean Construction*, racionalização da construção.

ABSTRACT

The construction in Brazil currently is an adaptation phase to the new economic reality, being essential the search for new productivity mechanisms for the survival of businesses. The use of new tools and control methods is the logical choice to stand out in the construction market. It was with this intention that the Lean Construction was established, aiming construction development with efficiency and productivity gains. In this work are presented and explained the principles, concepts, tools and foundations of this philosophy, intended to improve the processes of companies in this industry. To demonstrate the application and the gains of the method, the second part of this work is a case study at a vertical building that is under construction in Setor Comercial Norte, in Brasilia.

Keywords: Planning work, Lean Construction, construction racionalization.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	15
3	A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO E OUTRAS INDÚSTRIAS	16
3.1	A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA	16
3.2	A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	18
3.2.1.	<i>História e características da construção.....</i>	<i>18</i>
3.2.2.	<i>Modelo de produção atual.....</i>	<i>19</i>
3.2.3	<i>Filosofia gerencial tradicional x filosofia lean</i>	<i>22</i>
4	LEAN THINKING – PENSAMENTO LEAN	26
4.1	PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS.....	26
4.1.1	<i>Valor.....</i>	<i>27</i>
4.1.2	<i>Fluxo de Valor.....</i>	<i>27</i>
4.1.3	<i>Fluxo.....</i>	<i>28</i>
4.1.4	<i>Produção Puxada (Pull).....</i>	<i>28</i>
4.1.5	<i>Perfeição.....</i>	<i>28</i>
4.2	DESPERDÍCIO NA PERSPECTIVA LEAN.....	28
4.2.1	<i>Superprodução / Excesso de produção.....</i>	<i>29</i>
4.2.2	<i>Tempo de espera</i>	<i>29</i>
4.2.3	<i>Transporte</i>	<i>30</i>
4.2.4	<i>Processamento não agrega valor.....</i>	<i>30</i>
4.2.5	<i>Estoque.....</i>	<i>30</i>
4.2.6	<i>Movimentos desnecessários</i>	<i>30</i>
4.2.7	<i>Defeitos / Retrabalho</i>	<i>30</i>
5	LEAN CONSTRUCTION – CONSTRUÇÃO ENXUTA.....	31
5.1	FLUXOS DA CONSTRUÇÃO.....	32
5.2	PRINCÍPIOS DA LEAN CONSTRUCTION.....	33
5.2.1	<i>Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor</i>	<i>33</i>
5.2.2	<i>Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes</i>	<i>34</i>
5.2.3	<i>Reduzir a variabilidade.....</i>	<i>35</i>
5.2.4	<i>Reduzir o tempo de ciclo.....</i>	<i>36</i>

5.2.5	<i>Simplificar através da redução do número de passos ou partes</i>	37
5.2.6	<i>Aumentar a flexibilidade de saída</i>	37
5.2.7	<i>Aumentar a transparência do processo</i>	38
5.2.8	<i>Focar o controle no processo global</i>	38
5.2.9	<i>Introduzir melhora contínua no processo</i>	38
5.2.10	<i>Manter um equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões</i>	38
5.2.11	<i>Fazer benchmarking</i>	39
6	FERRAMENTAS DA LEAN CONSTRUCTION	40
6.1	ENGENHARIA SIMULTÂNEA	40
6.2	MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR	41
6.3	CÉLULAS DE PRODUÇÃO	41
6.4	TPM – TOTAL PRODUCTIVITY MAINTENANCE	43
6.5	<i>POKA-YOKE (PREVISÃO DE DEFEITOS)</i>	43
6.6	TAKT TIME	44
6.7	<i>KANBAN (ETIQUETA/QUADRO)</i>	44
6.8	CINCO S (5S)	47
6.9	LAST PLANNER SYSTEM	48
6.10	OPORTUNIDADES DE APLICAÇÃO DO <i>LEAN THINKING</i> NA CONSTRUÇÃO	51
7	METODOLOGIA DE PESQUISA	53
7.1	CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO	53
7.2	LOCAÇÃO DA OBRA	55
7.3	ACESSOS AO CANTEIRO	55
7.4	CADEIA DE SUPRIMENTOS	56
7.5	GESTÃO DE PROJETOS	57
7.6	IMPLANTAÇÃO	57
7.7	CRONOGRAMA FÍSICO E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS	58
7.8	CANTEIRO DE OBRAS	60
7.8.1	<i>Meios de transporte</i>	63
7.9	PLANEJAMENTO USANDO O <i>LEAN CONSTRUCTION</i>	68
7.9.1	<i>Identificação dos princípios</i>	68
7.9.1.1	Valor	68
7.9.1.2	Redução das atividades que não acrescentam valor	70
7.9.1.3	Reduzir a variabilidade	70
7.9.1.4	Reduzir o tempo de ciclo	70
7.9.1.5	Simplificar através do número de passos	77
7.9.1.6	Aumentar a transparência no processo	77

7.9.1.7	Focar o controle no processo global.....	77
7.9.1.8	Introduzir a melhoria contínua do processo	78
7.9.1.9	Fazer benchmarking.....	78
7.9.2	<i>Identificando as ferramentas Lean.....</i>	<i>78</i>
7.9.2.1	Engenharia simultânea	78
7.9.2.2	Mapeamento do fluxo de valor.....	79
7.9.2.3	TPM – Total Productivity Maintenance	79
7.9.2.4	Takt time	81
7.9.2.5	Cinco S (5S)	81
7.9.2.6	Last Planner System	82
8	ANÁLISE DOS RESULTADOS	83
9	CONCLUSÃO.....	84
10	BIBLIOGRAFIA.....	87
	ANEXOS.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Passado e presente da indústria construção	19
Tabela 2. Quadro de áreas.....	58
Tabela 3. Considerações adicionais quanto à escolha da grua	63
Tabela 4. Recomendações quanto à posição do elevador de cargas.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Linha de montagem da Ford Motor Company em 1913.....	16
Figura 2. Linha de montagem Toyota Motor Company	17
Figura 3. Modelo de conversão (processo de produção convencional)	20
Figura 4. Subdivisão de processos.....	20
Figura 5. Subprocessos de execução de estrutura de concreto armado	20
Figura 6. Aspecto do cronograma geral	22
Figura 7. Consequências das atividades em atraso	23
Figura 8. Fluxo de trabalho tradicional x fluxo de trabalho <i>lean</i>	24
Figura 9. Estrutura da Lean Construction.....	25
Figura 10. Princípios fundamentais	26
Figura 11. Os 7 desperdícios pela metodologia <i>Lean</i> x Valor	29
Figura 12. Modelo de processo da Construção Enxuta.....	31
Figura 13. Fluxos na construção	32
Figura 14. Exemplo de situação na qual se eliminou uma atividade que não agrega valor	34
Figura 15. Exemplo de situação na qual se eliminou uma atividade que não agrega valor	34
Figura 16. Duas formas de planejar uma mesma obra (hipotética).....	36
Figura 17. Simplificação do número de passos na execução de alvenaria	37
Figura 18. Processo escalonado x Processo iterativo	40
Figura 19. Possíveis situações de células de produção.....	42
Figura 20. Sistema de detecção de erros (<i>Poka-Yoke</i>).....	43
Figura 21. Procedimento de utilização de cartões <i>kanban</i> em containers	45
Figura 22. Procedimento de utilização de cartões <i>kanban</i> em quadro.....	46
Figura 23. Os cinco S	47
Figura 24. Organograma com Percentual de Planejamento Concluído	49
Figura 25. Método Last Planner aplicado à empresa Norlabor – Engenharia e Construção S.A.....	50
Figura 26. Uma visão das conexões entre objetivos, princípios, elementos fundamentais e ferramentas <i>lean</i>	51
Figura 27. Comparação entre os cinco princípios de Womack e Jones (1998), elementos fundamentais <i>lean</i> conforme Picchi e os princípios de Koskela (1992)	52
Figura 28. Projeção das torres em softwares	53

Figura 29. Projeção das torres em softwares	54
Figura 30. Corte esquemático das torres	54
Figura 31. Locação da obra.....	55
Figura 32. Locação da obra e vias de acesso para carga e descarga	56
Figura 33. Instalação do empreendimento	58
Figura 34. Cronograma físico simplificado	59
Figura 35. Layout do canteiro de obras.....	62
Figura 36. Instalações provisórias de apoio técnico, áreas de vivência e almoxarifado	62
Figura 37. Instalações provisórias de produção (central de armação e central de fôrmas)	63
Figura 38. Planta de fundação torre A.....	64
Figura 39. Locação e alcance da grua	65
Figura 40. Locação da grua e início da estrutura da torre B	65
Figura 41. Central de armação a céu aberto, ao alcance da grua	66
Figura 42. Localização dos elevadores cremalheira	67
Figura 43. Plataforma para movimentação de materiais entre pavimentos	68
Figura 44. Projeção em 3D do auditório.....	69
Figura 45. Planta pavimento tipo; desimpedida de vigas e pilares.....	69
Figura 46. Cronograma convencional da estrutura da torre B.....	71
Figura 47. Ciclo típico da estrutura para o subsolo da torre B – planejamento convencional	72
Figura 48. Ciclo típico da estrutura do subsolo da torre B - replanejado.....	74
Figura 49. Cronograma replanejado da estrutura da torre B.....	75
Figura 50. Gráfico comparativo de horas trabalhadas por tarefa nos dois planejamentos para carpinteiros.....	76
Figura 51. Gráfico comparativo de horas trabalhadas por tarefa nos dois planejamentos para serventes.....	76
Figura 52. Perfuratriz para tirante.....	80
Figura 53. Funil para concreto.....	80

1 INTRODUÇÃO

A baixa produtividade tem sido o maior problema encontrado na gestão da indústria da construção civil no Brasil. Isto devido às dificuldades com escassez de pessoal, falta de mão de obra qualificada, falhas de planejamento, qualidade da construção considerada insuficiente, controle inadequado, problemas de interligação dos projetos ou a combinação destes fatores (KOSKELA, 1992).

Acontece que o planejamento e gerenciamento de muitas obras é feito de forma muito arcaica, pois não recebem o valor que deveriam, resultando em atividades concebidas de forma que possuam prazos independentes e estejam desbalanceadas entre si. Por esse motivo há interrupção de fluxo, falta de qualidade, custos elevados de produção e altos índices de desperdício.

As construtoras têm buscado a melhoria contínua com a implementação de sistemas de gestão da qualidade, mas estes não atendem as questões relacionadas com a produção. Neste contexto, a *Lean Construction*, que é uma adaptação do *Lean Production* para a construção civil, surgiu para preencher este espaço.

Na construção *lean* releva-se o gerenciamento de etapas isoladas da obra para se enfatizar o planejamento de todo o processo construtivo, por meio do mapeamento do fluxo de atividades. A abordagem *lean* na construção civil visa sequenciar as atividades de modo integrado, planejando as atividades de forma balanceada, ou seja, atividades cadenciadas e no mesmo ritmo. A consequência deste tipo de solução é fazer com que haja a quebra de isolamento da sequência de atividades na obra.

A *Lean Construction* foi desenvolvida pelo pesquisador finlandês Lauri Koskela, que publicou o primeiro trabalho do tema, intitulado *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Koskela adaptou os princípios do sistema de produção da Toyota Motors Company (indústria automobilística) para a construção civil, um sistema que aumentou a competitividade a partir da identificação e eliminação de perdas na produção, que não se resumem apenas a produtos defeituosos gerados no sistema de produção em massa, mas também perdas de recursos, mão de obra e equipamentos em atividades que não geram valor.

PINTO (2012) explica que o principal intuito do sistema é elevar os lucros eliminando os custos, e seus pilares são o Just-in-time e a Automação. O termo Just-in-time, que significa somente no tempo, é usado para definir o processo de produção que é capaz de responder instantaneamente à demanda, sem necessidade de estoque adicional ou minimizando ao máximo este estoque. Em outras palavras, as partes necessárias à montagem devem alcançar a linha de montagem no momento em que são necessárias e somente na quantidade necessária. Esse pensamento do Just-in-time de que o ideal é produzir somente o necessário reduzem os custos que poderiam ser desnecessários à produção.

O outro pilar do Sistema Toyota de Produção, a Automação, que busca diminuir a produção de produtos defeituosos. Ele se baseia em dar “inteligência” à máquina, implementando algumas funções supervisoras a ela. Sendo assim, quando uma máquina apresentar algum defeito, o sistema de produção para automaticamente.

Contudo, diferentemente da indústria automobilística, na construção civil existem condicionantes inerentes à atividade que impossibilitam a padronização das tarefas, sendo cada projeto diferente em vários aspectos. Destaca-se a diferente localização de cada projeto, a mudança de intervenientes (projetistas, fornecedores, etc), entre outras condicionantes que acabam por classificar cada projeto de construção como um protótipo (KOSKELA, 1992).

Apesar dessas dificuldades, neste trabalho se discutirá uma maneira de se implantar o *lean*, evidenciando a necessidade do planejamento de obras e de que as ações inseridas no processo devem ser implementadas de forma estratégica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo identificar as diretrizes para implantar os princípios e filosofias da construção enxuta em um canteiro de obras vertical em Brasília/DF para melhoria dos seus processos produtivos.

2.2 Objetivo específico

- Conhecer e apresentar as técnicas e métodos utilizados na *Lean Construction* para a sua aplicação no planejamento de obras;
- Coletar informações da obra em estudo para análise e proposta de melhorias;
- Aplicar os conceitos *lean* no replanejamento da obra em estudo;
- Identificar os ganhos mais consideráveis, mostrando separadamente a redução de prazo em algumas atividades.

Este trabalho não pretende analisar os orçamentos e os gastos do estudo de caso, em função de não ter acesso ao controle de custos do empreendimento.

3 A INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO E OUTRAS INDÚSTRIAS

3.1 A Indústria Automobilística

A grande revolução da produção em fábrica foi atingida através da produção em série. Seu criador e impulsionador foi Henry Ford, fundador da *Ford Motor Company*. Tendo percebido de que o sistema de produção artesanal não era a forma ideia de expandir seu negócio, criou o sistema de produção em massa, cuja ideia era aumentar a produtividade e qualidade através do uso de linhas de montagem em movimento contínuo e, ainda, diminuir o custo final do automóvel.

Em 1912 o método de produção em massa foi instalado na Ford Motor Company (Figura 1) e era possível produzir um carro a cada 93min.

Figura 1. Linha de montagem da Ford Motor Company em 1913



Fonte: corporate.ford.com

A linha de montagem permitia usar mão de obra pouco qualificada uma vez que o trabalho era quase todo feito pelas máquinas, e uma padronização das matérias-primas, tarefas e produto final. Como a produção era em série e em grande escala

de produtos iguais, permitia que fossem mais baratos para o consumidor, e seriam cada vez mais, à medida que aumentasse a produção.

Algumas décadas adiante, fundamentadas no conceito da produção em massa através da linha de montagem, surge no Japão, por meio da *Toyota Motor Company*, a *Lean Production* (que deu origem à *Lean Construction*). Depois da 2ª Guerra Mundial a Toyota Motor Company (Figura 2) analisou o momento e chegou à conclusão que a produção em grandes quantidades e contínua não se adaptava à realidade econômica do país. Surge então o Sistema Toyota de Produção, cuja filosofia principal era aumentar a eficiência de produção pela eliminação consistente e completa dos desperdícios.

Segundo este modelo, a quantidade produzida seria regida exatamente de acordo com a exigência do mercado. A forma de trabalhar também evoluiu - a linha de montagem continuou - mas enquanto no início a mão de obra era pouco qualificada, os trabalhadores passaram a ser qualificados e muitos não efetuavam apenas uma tarefa na linha de montagem como participavam do processo todo.

Figura 2. Linha de montagem Toyota Motor Company



Fonte: Margaret Bourke-White (2012)

Nos automóveis mais luxuosos existem até modelos que tem marcado o nome do responsável principal pela sua fabricação. Logo, na indústria automobilística passou a haver uma atitude diferente face à forma de produzir, havendo mais planejamento, membros responsáveis pelas diversas áreas de montagem e, em alguns casos, responsáveis mesmo por um só veículo.

3.2 A Indústria da Construção

3.2.1. História e características da construção

Historicamente a indústria da construção é a indústria mais antiga e, por isso, mais tradicional. A necessidade de construir advém do homem, apesar de ter sido só no Império Romano que começou a se pensar na construção de forma organizada.

Durante a Idade Média os denominados mestres construtores eram responsáveis por todas as fases do processo construtivo. O projeto começava praticamente ao mesmo tempo da construção e ia sendo adaptado ao longo da obra. Apenas no século XV, com o aparecimento dos primeiros arquitetos, é que houve a separação da fase de concepção (projeto) e execução (execução).

O setor da construção é, no Brasil, como em outros países, um setor muito distinto dos outros setores de atividade, quer em termos produtivos quer em termos de mercado de trabalho. É, também, um importante indicador econômico do país, já que é bastante sensível às variações do ciclo econômico. O impacto que essa indústria gera é imenso, afetando desde empresas de aço e cimento até empresas de mobiliário e equipamento doméstico.

A construção é uma indústria particular por inúmeros fatores, seja pela extensa variedade de clientes, desde o Estado ao cliente particular; pela diversidade de produtos, que cobrem obras de habitação comuns até obras complexas como barragens; ou pelas técnicas construtivas, já que numa mesma empreitada existem várias alternativas e são usadas técnicas novas e antigas.

É possível notar a evolução desse setor ao longo dos anos, e é hoje possível fazer uma síntese dos aspectos mais relevantes que alteraram a partir de novos conhecimentos, hábitos, tecnologias e políticas. A tabela 1 apresenta um resumo do passado e presente da indústria da construção.

Tabela 1. Passado e presente da indústria construção

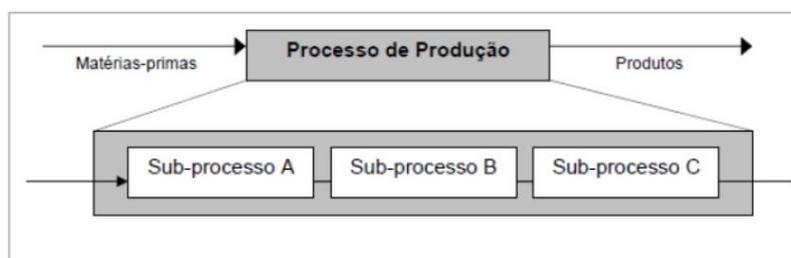
PASSADO	PRESENTE
Atividade predominantemente artesanal; Mão de obra experiente sujeita a longo processo de aprendizagem e disponível em grande número	Industrialização crescente; predomínio de mão de obra indiferenciada, disponibilidade reduzida, número insuficiente. Baixa consideração social em trabalhos de construção civil.
Reduzido número de exigências de desempenho	Grande número de exigências diferentes de desempenho
Menor preocupação com os custos	Grande preocupação com os custos, “concepção aos limites”
Predomínio de soluções tradicionais	Inovação, em alguns casos mal assimilada e mal adaptada às condições nacionais
Reduzido número de materiais de construção incorporado nas construções	Elevadíssimo número de materiais e sistemas com compatibilização nem sempre assegurados
Preocupações com a perenidade das construções e soluções	Soluções e atitudes dos intervenientes privilegiando realizações voláteis

Fonte: Arantes, Paula (2008)

3.2.2. Modelo de produção atual

Segundo FORMOSO (2000), o modelo de processo dominante atual é o chamado modelo de conversão, que define a construção como um conjunto de atividades de conversão, que transformam as matérias primas em produtos intermediários (ex: fundação, estrutura, revestimentos) ou finais (ex: edificação).

Figura 3. Modelo de conversão (processo de produção convencional)

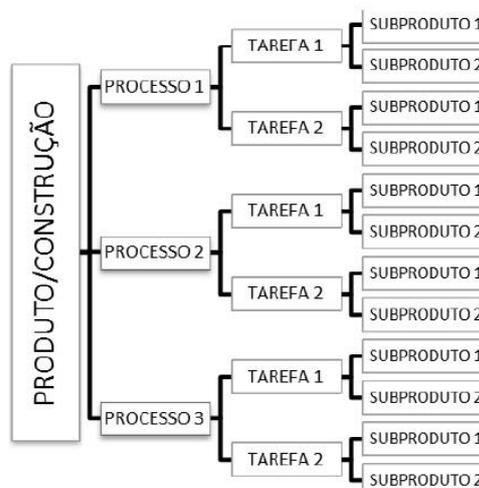


Fonte: Formoso, Carlos (2000)

FORMOSO (2000) apresenta três características deste modelo:

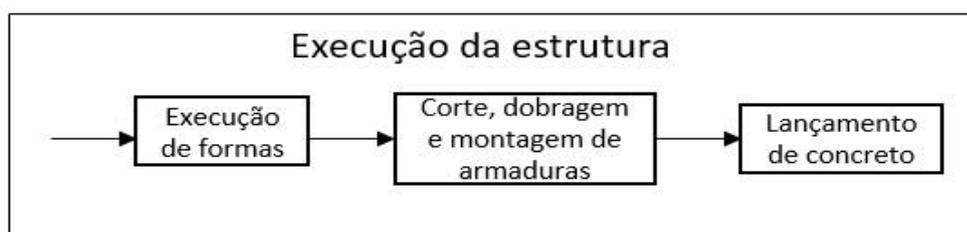
- 1) O processo de conversão pode ser subdividido em subprocessos (Figura 4), que também são processos de conversão. Um exemplo mais específico, a execução da estrutura pode ser subdividida em processos (Figura 5).

Figura 4. Subdivisão de processos



Fonte: Pinto, Jorge (2012)

Figura 5. Subprocessos de execução de estrutura de concreto armado



- 2) O esforço para minimizar o custo total de um processo em geral é focado no esforço de minimizar o custo de cada subprocesso separadamente;
- 3) O valor do produto de um subprocesso é associado somente ao custo dos seus insumos.

Em orçamentos convencionais este é o modelo adotado, geralmente segmentados por produtos intermediários (por exemplo: pilares, janelas, cimento, etc), e também nos planos de obra, onde é comum representar-se apenas as atividades de conversão.

Assim, tanto o orçamento quanto o plano de obra em geral representam explicitamente a sequência de atividades que agregam valor ao produto, também denominada de fluxo de montagem de uma edificação. FORMOSO (2000) define as principais deficiências do modelo de conversão como:

- 1) Uma parcela das atividades existentes que compõe os fluxos físicos entre as atividades de conversão (fluxos de materiais e de mão de obra) não são explicitamente consideradas. Ao contrário das atividades de conversão, estas atividades não agregam valor. Em construção de edificações, a maior parte dos custos é originada nestes fluxos físicos. Estima-se que cerca de dois terços do tempo gasto pelos trabalhadores em um canteiro de obras estão nas operações que não agregam valor: transporte, espera por material, retrabalhos, etc;
- 2) O controle da produção e esforço de melhorias tende a ser focado nos subprocessos individuais e não no sistema de produção como um todo. Ênfase excessiva em melhorias nas atividades de conversão, especialmente através de inovações tecnológicas, pode deteriorar a eficiência dos fluxos e de outras atividades de conversão, limitando a eficiência global. Por exemplo: introdução de um sistema novo de vedações verticais no lugar de alvenaria convencional pode aumentar a produtividade na execução de paredes, mas pode ter um impacto insignificante na eficiência do processo como um todo se não houver redução significativa do tempo gasto em atividades que não agregam valor, como transporte de materiais e esperas por parte de equipes subsequentes;
- 3) Não consideração dos requisitos dos clientes, tantos dos finais como dos internos. Pode gerar produtos até eficientes, mas inadequados. Exemplo: Pode-se

construir um edifício com grande eficiência, mas sem os requisitos dos clientes finais. Da mesma maneira, uma equipe de estrutura pode executar o desempenho perfeito da superfície de concreto das lajes, o que, ao invés de facilitar o trabalho das equipes subsequentes (denominados clientes internos), vai dificultá-lo, pois existe a necessidade de aderência entre as lajes e a argamassa de assentamento do piso a ser assentado.

O modelo de conversão de fato é o praticado usualmente na construção. Para quem nunca pensou no modelo que rege a construção, dificilmente perceberá os erros que se pode cometer ao longo dos seus processos e, portanto, não saberá evitá-los.

3.2.3 Filosofia gerencial tradicional x filosofia lean

Em obras de construção predial há muita repetição de atividades, acontecendo no mesmo pavimento (módulos) e entre pavimentos (pavimento tipo). Este detalhe leva o planejamento convencional a distribuir a obra em atividades e estas atividades são discriminadas em um cronograma geral, como mostra a Figura 6.

Figura 6. Aspecto do cronograma geral

ATIVIDADES		EXECUÇÃO	OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO			JANEIRO			ETC			
1. FUNDAÇÕES		FÔRMA	X															
		ARMAÇÃO		X														
		CONCRETAGEM			X													
2. ESTRUTURA	2.1 PILARES	FÔRMA				X												
		ARMAÇÃO					X											
		CONCRETAGEM						X	X									
	2.2 VIGAS	FÔRMA				X												
		ARMAÇÃO					X											
		CONCRETAGEM						X	X									
	2.3 LAJES	FÔRMA								X								
		ARMAÇÃO									X							
		CONCRETAGEM										X	X					
N. ETC	N.1 ETC	ETC																

Fonte: Rosenblum, Ana (2007)

Na elaboração do cronograma há a preocupação de identificar as atividades, suas as durações e a sequência delas. Contudo, esse planejamento trata as

atividades de forma isolada e ao elaborar-se o cronograma aplica-se uma margem estimada de tempo sobre as atividades. Esta margem pode estar de acordo com as experiências anteriores ou por índices estabelecidos pelo setor de construção civil. É uma postura pragmática.

ROSENBLUM (2007) aponta que este procedimento apresenta uma falha inerente à filosofia gerencial tradicional de construção. Quando uma atividade não é cumprida no prazo do planejamento, gera-se um atraso cumulativo no cronograma, gerando custos adicionais e perdas na qualidade da obra, proporcionais ao tempo de atraso, conforme Figura 7.

Quando o atraso ocorre em apenas uma atividade, é possível medir e redistribuir custos e perdas adicionais, assim como o tempo de execução das atividades, porém o tempo de atraso pode ocorrer em várias atividades. Quando isto acontece, torna-se muito complicado medir ou redistribuir as atividades e assim surge o desperdício.

Figura 7. Conseqüências das atividades em atraso



Fonte: Rosenblum, Ana (2007), adaptado

No conceito lean o planejamento parte do mesmo ponto do procedimento convencional: da identificação das atividades. Após são determinados os módulos

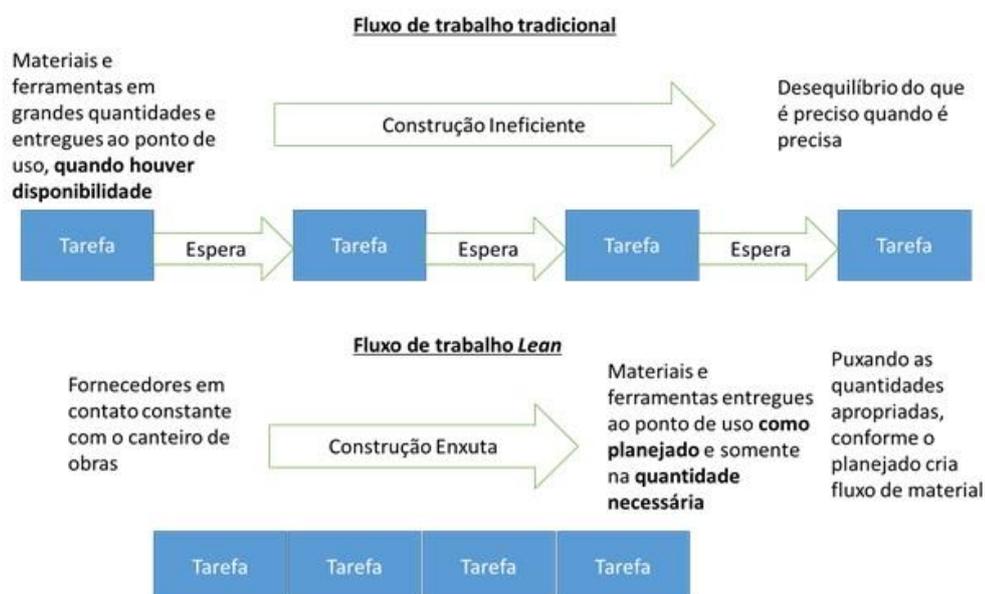
de repetição, ou seja, são verificados todos os trechos de execução da obra onde as atividades se repetirão igualmente.

Em seguida determina-se a duração em que os módulos devem ser executados. Cada atividade dentro do módulo deve ser estudada de forma a calcular o tempo real necessário para sua execução, para que sejam então geradas frentes de trabalho específicas e equipes associadas a ela.

A ideia (módulo x tempo x equipe) possibilita a organização de um fluxograma das atividades na obra, onde o balanceamento entre estas atividades é essencial para que a sequência estabelecida pelo procedimento *lean* possa medir e reduzir ao máximo as ocorrências de retrabalhos e esperas. A partir do momento em que as atividades são planejadas de acordo com a modulação proposta, elas permanecem ligadas entre si, independentemente de atrasos.

Os fluxos de trabalho da filosofia tradicional e a *lean* também apresentam diferenças que facilitam enxergar as vantagens de uma para a outra, apresentadas na Figura 8.

Figura 8. Fluxo de trabalho tradicional x fluxo de trabalho *lean*

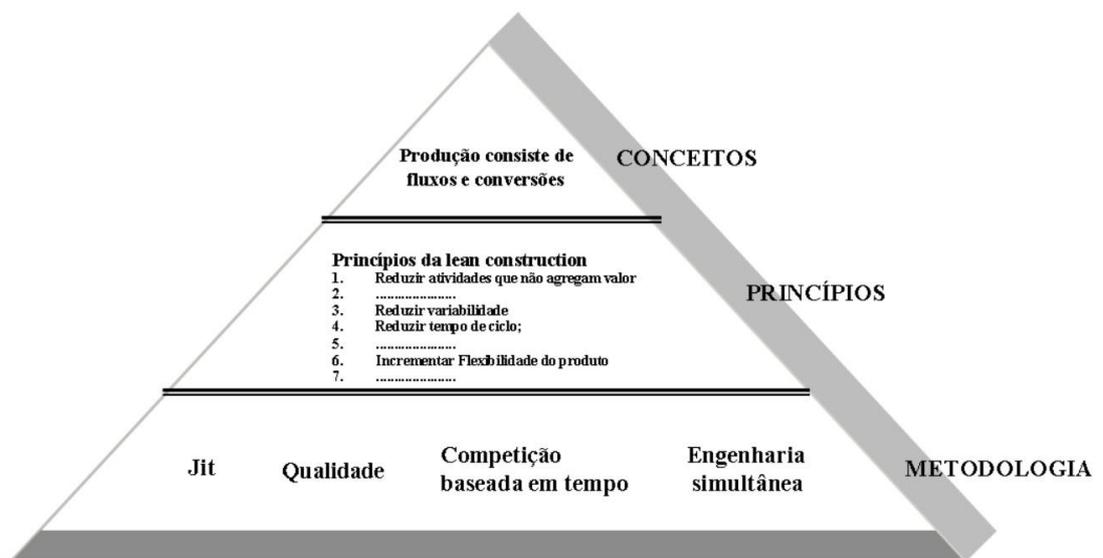


Fonte: 21st Century Construction.(adaptado). Disponível em <www.criterion-llc.com>. Acesso em 30.3.2016.

O fluxo *lean* gera a diminuição do estoque em canteiro de obras, redução do desperdício, redução da mão de obra ociosa e redução de tempo gasto com movimentação de material.

A proposta de KOSKELA (1992) é apresentada na Figura 9; no capítulo 5 serão descritos os conceitos e no capítulo 6 os princípios relacionados à filosofia *lean*.

Figura 9. Estrutura da Lean Construction



Fonte: Koskela (1992)

4 LEAN THINKING – PENSAMENTO LEAN

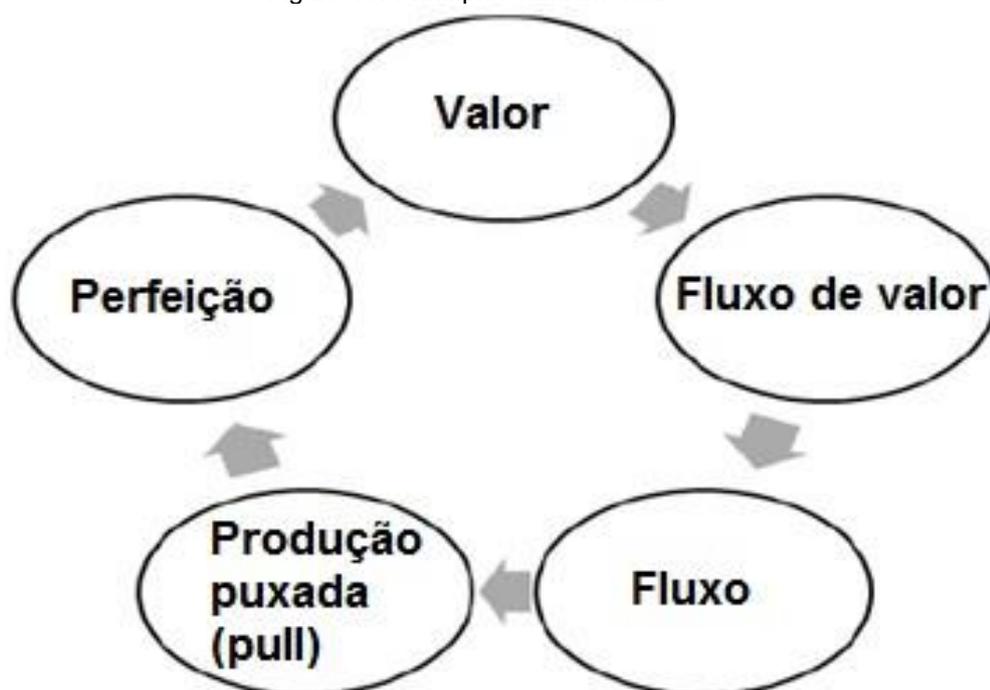
A tradução literal de *Lean thinking* induz a ideia de pensamento enxuto, magro, esbelto, que representa alcançar os mesmos resultados com menos recursos. A ideia tem origem na generalização do contexto automobilístico às restantes indústrias do ramo de produção. WOMACK e JONES (1996) exemplificam aplicações às várias indústrias de formas de diminuição de desperdícios através de uma mudança de filosofia administrativa, gestão e aplicação de meios produtivos.

Para WOMACK e JONES (1996), existem 5 princípios fundamentais do pensamento *lean*: valor, fluxo de valor, produção puxada e perfeição (fig. 10).

4.1 Princípios fundamentais

Para ser aplicado, o método *Lean* pretende que seja avaliada toda a estrutura das empresas, identificando todos os desperdícios que estão sendo acumulados nas tarefas realizadas.

Figura 10. Princípios fundamentais



Fonte: Arantes (2000), adaptado

4.1.1 Valor

Um processo só gera valor quando as atividades de processamento transformam as matérias primas ou componentes nos produtos requeridos pelos clientes. Deve-se entender o que é valor para o cliente e oferecer maior valor agregado, sem desperdícios. Contudo, de acordo com KOSKELA (2000), “os níveis de satisfação do cliente podem ser separados em três grupos: nível básico, nível esperado e nível inesperado”. O nível básico é tão óbvio que o cliente provavelmente nem dê detalhes mesmo quando perguntado; por outro lado, o nível inesperado o cliente não conseguia nem imaginar algo tão satisfatório. O nível esperado é o que o cliente geralmente discute os detalhes quando perguntado.

4.1.2 Fluxo de Valor

A criação de um produto implica a sua montagem ou modificação para a sua utilização, mas para a sua concretização habitualmente existe ainda uma cadeia de atividades que tem de ser executada. Dessas atividades é necessário identificar quais são essenciais e quais podem ser excluídas. São classificadas em 3 categorias:

1) Atividade de Criação de Valor

São as designadas atividades em que o produto ganha a sua forma ou é transformado no produto objeto de utilização pelo consumidor, são as atividades em que objetivamente o produto ganha o seu valor comercial;

2) Desperdício tipo 1

Estas atividades são as que apesar de não acrescentarem valor ao produto final são essenciais para que o produto seja concretizado, como por exemplo o transporte da matéria prima, a embalagem, a limpeza, entre outros. Estas atividades devem consistir em tarefas que não possam ser substituídas por processos tecnológicos ou mecanismos dependentes da empresa;

3) Desperdício tipo 2

São as atividades que podem ser eliminadas ou que o efeito do seu valor pode ser diminuído na cadeia de fluxo.

4.1.3 Fluxo

Para maximizar o valor de um produto deve-se concretizar uma cadeia de tarefas de uma forma contínua, de modo que o tempo de concretização e sistematização dos processos seja diminuído e os procedimentos estabilizados.

Cada parâmetro envolvido num subprocesso deve ter uma descrição detalhada e seu enquadramento global na cadeia de fluxo, caracterizando cada passo desde sua origem até o fim. Essa corrente de valor garante uma continuidade capaz de identificar melhores processos de encadeamento de tarefas, eliminando desperdícios desde a fase da matéria prima até o cliente final.

4.1.4 Produção Puxada (Pull)

Deve-se produzir somente quando demandado pelo cliente ou pelo processo posterior. Previsões erradas de mercado implicam em investimentos de recursos com resultados econômicos abaixo dos estimados. Produzir o que é puxado pelo cliente diminui a variabilidade de aceitação do produto pelo mercado.

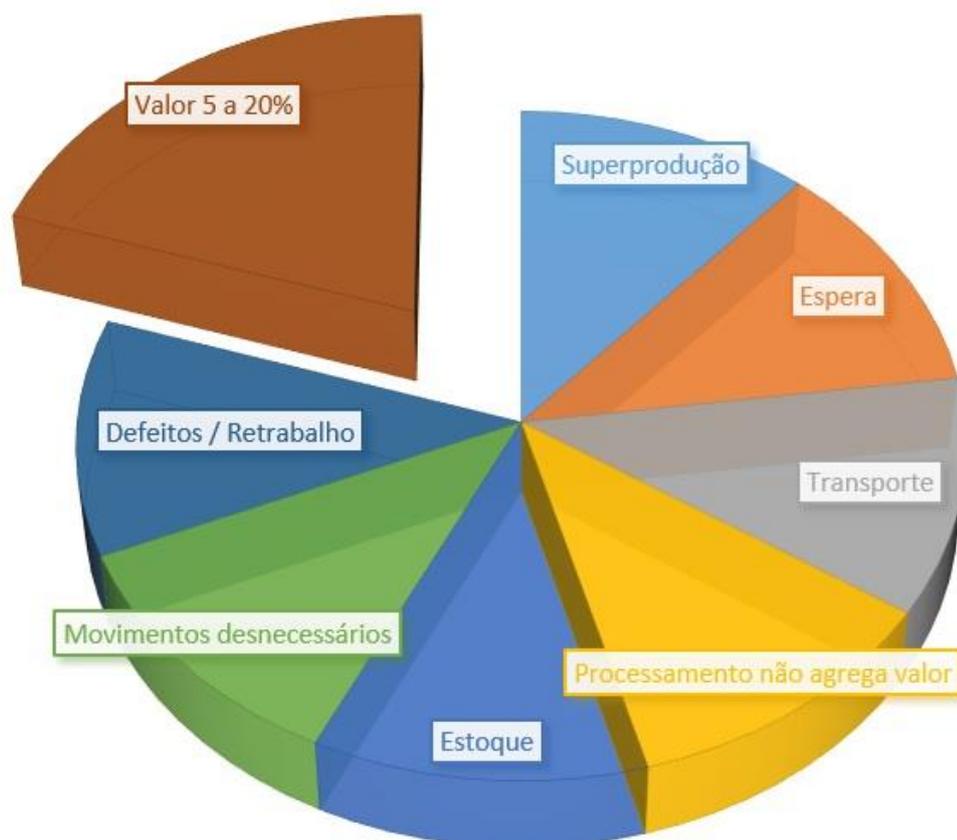
4.1.5 Perfeição

Alcançar a perfeição é utópico, porém é possível chegar mais próximo da dela através dos mecanismos de limitação dos desperdícios e da diminuição de fatores de variabilidade. É possível, em cada passo, se aproximar de um sistema perfeito, no qual todos os defeitos seriam eliminados e a corrente de valor seria composta apenas por atividades que incluiriam valor para o produto.

4.2 Desperdício na perspectiva *Lean*

Segundo ARANTES (2008), o desperdício é considerado como um dos pontos fundamentais dentro da conceitualização *lean*. A sua redução é uma das aspirações da filosofia, que defende que os desperdícios advêm das atividades que não fornecem valor ao produto final (desperdícios tipo 1 e 2). São definidos 7 desperdícios básicos no processo de produção, conforme a Figura 11.

Figura 11. Os 7 desperdícios pela metodologia *Lean* x Valor



Fonte: Lombardi (2014), adaptado

4.2.1 Superprodução / Excesso de produção

Produzir além da demanda, ou seja, produzir sem deixar o cliente puxar é um enorme desperdício. As matérias primas são utilizadas antes de serem necessárias, o espaço em canteiro para armazená-las é maior e o custo de armazenamento e transporte aumenta.

4.2.2 Tempo de espera

A espera de uma tarefa pode provocar um efeito em cadeia de inatividade de vários trabalhadores e desperdício de utilização de equipamentos, devido às suas interdependências e encadeamentos. Por exemplo: falta de materiais ou de equipamentos.

4.2.3 Transporte

Os meios de transporte têm de ser adequados à carga em questão, estar localizados em pontos estratégicos e ter capacidade para a quantidade de trabalho exigida.

4.2.4 Processamento não agrega valor

Cada processo deve sempre visar ser feito da maneira mais eficiente possível, mas nem sempre é. Uma tecnologia inadequada ou um layout pobre de espaço podem representar um desperdício no processamento do próprio trabalho. Recorrer à técnica de Mapeamento de Fluxo de Valor é recomendável para detectar e eliminar as etapas do processo que não acrescentam valor.

4.2.5 Estoque

Excesso de estoque gera excesso de armazenamento, excesso de matéria prima, tendência ao desperdício e custos adicionais com tempo, pessoal e transporte.

4.2.6 Movimentos desnecessários

Os movimentos internos dos trabalhadores devem ser minimizados, sendo disponibilizados em cada local todos os recursos que o trabalhador necessita para efetuar a sua tarefa sem esforço extra ou deslocamentos desnecessários.

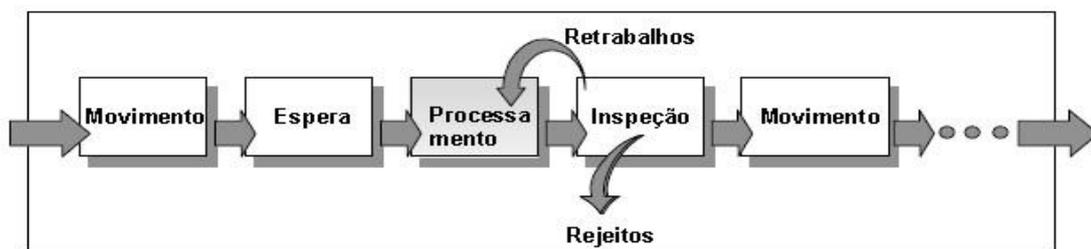
4.2.7 Defeitos / Retrabalho

As peças ou produtos com defeito requerem correção ou repetição do trabalho, e para tal é necessário mais tempo, requisitar mão de obra para desfazer o trabalho anterior, corrigi-lo e repeti-lo. Além disso, há desperdício do material que foi utilizado.

5 LEAN CONSTRUCTION – CONSTRUÇÃO ENXUTA

O modelo de processo da construção enxuta assume que um processo consiste em um fluxo de materiais, desde a matéria prima até o produto final, sendo constituído por atividades de transporte, espera, processamento (ou conversão) e inspeção (Figura 12).

Figura 12. Modelo de processo da Construção Enxuta



Fonte: Koskela (1992)

As atividades de transporte, espera e inspeção não agregam valor ao produto final, e por isso são denominadas atividades de fluxo (desperdício tipo 1). O planejamento baseado no processo de fluxos leva ao entendimento das causas que originam os problemas e, assim, permite uma melhora objetiva.

As inovações desta filosofia podem ser resumidas de acordo com KOSKELA (1992) em três pontos principais:

- 1) Abandono do conceito de processo como transformação de inputs (matéria-prima) em outputs (produtos), passando a designar um fluxo de materiais e informações;
- 2) Análise do processo de produção através de um sistema de dois eixos ortogonais: um representando o fluxo de materiais (processo) e outro o fluxo de operários (operação);
- 3) Consideração do valor acrescentado sob o ponto de vista dos clientes internos e externos, tendo como consequência a reformulação do conceito de perdas que passa a incluir também as atividades que não acrescentam valor ao produto.

5.1 Fluxos da construção

Para melhor analisar a aplicação da *Lean Construction*, é preciso que sejam entendidos seus diversos fluxos, coerentemente com o enfoque *lean* de aplicação por fluxo. PICCHI (2000) propõe a divisão dos fluxos em:

Fluxo de negócio: liderado pelo contratante (ou incorporador), compreende desde a identificação de necessidades, planejamento geral do empreendimento, aprovações em prefeitura e concessionárias, obtenção de financiamento, contratações, monitoramento do projeto e construção, recebimento da construção e entrega ao usuário;

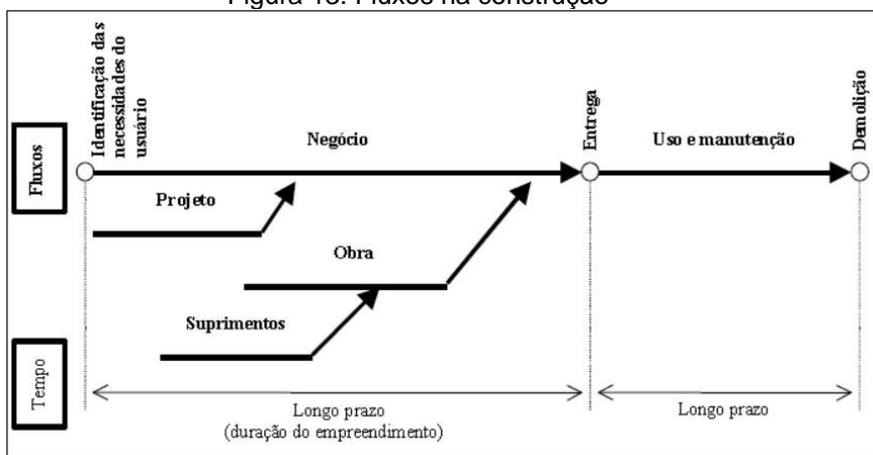
Fluxo de projeto: geralmente liderado pelo arquiteto, envolvendo o contratante (identificação de necessidades e briefing) e os demais projetistas;

Fluxo de obra: liderado pela empresa construtora, geralmente utilizando um elevado grau de subcontratação;

Fluxo de suprimentos: liderado pela empresa construtora, envolve todos os fornecedores e subfornecedores de seus materiais e serviços;

Fluxo de uso e manutenção: se inicia após a entrega e equivale ao fluxo sustentação da manufatura. Este fluxo compreende uso, operação e manutenção, assim como reparo, reforma, remodelagem e demolição. Geralmente são empresas diferentes das que lideraram os fluxos anteriores.

Figura 13. Fluxos na construção



Fonte: Picchi (2000)

5.2 Princípios da Lean Construction

A seguir serão descritos os onze princípios de KOSKELA (1992), os quais permitem a caracterização de desperdícios, gestão da qualidade, avaliação de performance dos vários intervenientes na construção.

5.2.1 Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor

Princípio fundamental da *Lean Construction* segundo o qual a eficiência dos processos pode ser melhorada e as suas perdas reduzidas não só através da melhoria da eficiência das atividades de conversão e fluxo, mas também pela eliminação de algumas das atividades de fluxo.

Essa eliminação não deve ser levada ao extremo, pois existem tarefas que não agregam valor ao cliente final de forma direta e ainda assim são indispensáveis à eficiência global dos processos, como o treinamento de mão de obra e a instalação de dispositivos de segurança.

Para aplicar em obra, deve-se explicitar as atividades de fluxo dos processos, por exemplo através do mapeamento do fluxo de valor. Uma vez explicitadas, estas atividades podem ser controladas e, se possível, eliminadas.

Exemplos de aplicação na construção:

- 1) Na fase de concretagem, substituir um vibrador convencional por um portátil (Figura 14) permite que apenas um trabalhador execute a tarefa, ao invés de dois que seriam necessários no processo tradicional (um para segurar o vibrador e outro para espalhar o concreto);
- 2) Reduzir as atividades de movimentação de descarga de materiais, almoxarifado e local de aplicação através de um estudo de arranjo físico de canteiro de obras;
- 3) O emprego de um dispositivo de suporte do mangote utilizado no bombeamento de argamassa (Figura 15) permite que o servente realize uma atividade que agrega valor (espalhar a argamassa) ao invés de simplesmente segurar o mangote.

Figura 14. Exemplo de situação na qual se eliminou uma atividade que não agrega valor



Fonte: Arantes, Paula (2008).

Figura 15. Exemplo de situação na qual se eliminou uma atividade que não agrega valor



Fonte: Formoso, Carlos (2000)

5.2.2 Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes

Segundo Koskela (1992), o valor não é um fator inerente ao processo de conversão, mas é gerado como consequência da satisfação dos requisitos dos clientes.

Este princípio estabelece que devem ser identificadas claramente as necessidades dos clientes internos e externos e esta informação deve ser considerada no projeto do produto e na gestão da produção.

Exemplo de aplicação em obra:

- 1) Na fase de projeto deve-se ter dados relativos aos requisitos e preferências dos clientes finais, obtidos através de pesquisas de mercado com potenciais compradores ou avaliações pós-ocupação de edificações já entregues;
- 2) Este princípio pode ser aplicado no processo de produção, com as equipes de trabalho respeitando as equipes subsequentes nas tolerâncias dimensionais de suas tarefas de forma a não comprometer a da equipe seguinte. Por exemplo, a equipe que executa a estrutura de concreto armado deve tomar cuidado para não dificultar as tarefas das equipes de alvenaria e revestimento.

5.2.3 Reduzir a variabilidade

A padronização dos procedimentos geralmente é a melhor forma de reduzir a variabilidade. Existem diversos tipos de variabilidade que podem ser ligados aos processos de produção, como as variações dimensionais de materiais, a variedade na própria execução de determinada tarefa e variabilidade dos requisitos dos clientes. A natureza da variabilidade também pode ser relacionada com a qualidade do produto, a duração das atividades ou com os recursos consumidos.

Do ponto de vista da gestão de processos, existem duas razões para a redução da variabilidade. A primeira é do ponto de vista do cliente, pois um produto uniforme em geral traz mais satisfação, o produto corresponde efetivamente às especificações previamente estabelecidas. É o caso da equipe de alvenaria, por exemplo, cujo serviço é facilitado caso os blocos não sofram muitas variações dimensionais.

Outra razão vem por a variabilidade tender a aumentar a parcela de atividades que não acrescentam valor e também o tempo para executar um produto, pelas seguintes razões:

- 1) Interrupção de fluxos de trabalho causada pela interferência entre as equipes. Isto ocorre quando uma equipe é deslocada para outra frente de trabalho ou fica

parada em função de atrasos da equipe anterior. Por exemplo, a equipe de alvenaria foi deslocada para a execução de chapisco em outra frente de trabalho porque houve atraso na execução da estrutura;

2) Não aceitação de produtos fora da especificação pelo cliente, resultando em rejeições e retrabalhos.

Uma maneira de combater a variabilidade em obra é mantendo controles de qualidade com base nos padrões definidos pela empresa, no qual é definido o sequenciamento das tarefas e são disponibilizados os recursos necessários para o seu cumprimento.

5.2.4 Reduzir o tempo de ciclo

A redução do tempo de ciclo implica na redução da soma de todos os tempos necessários para a execução de uma determinada tarefa (transporte, espera, processamento, inspeção).

A ideia é eliminar as atividades de fluxo, reduzir o número de unidades de produção e mudar as relações de precedência entre as atividades, de forma que possam ser executadas em paralelo. Duas possíveis estratégias são demonstradas a seguir:

Figura 16. Duas formas de planejar uma mesma obra (hipotética)

ALTERNATIVA 1 (LONGO TEMPO DE CICLO)

Etapa	Período 1	Período 2	Período 3	Período 3	Período 4	Período 5	Período 6	Período 7	Período 8
A									
B									
C									
D									

ALTERNATIVA 2 (PEQUENO TEMPO DE CICLO)

Etapa	Período 1	Período 2	Período 3	Período 3	Período 4	Período 5	Período 6	Período 7	Período 8
A									
B									
C									
D									

Fonte: Formoso, Carlos (2000)

5.2.5 Simplificar através da redução do número de passos ou partes

Consiste na diminuição do número de componentes num produto ou estágios num fluxo. Visa eliminar as atividades que não agregam valor.

Em obra, um exemplo de aplicação seria o uso de componentes pré-fabricados para a estrutura, reduzindo o número de passos na execução da estrutura, nomeadamente nos processos de fôrmas, armação, concretagem, cura e escoramento.

Figura 17. Simplificação do número de passos na execução de alvenaria



Fonte: Formoso, Carlos (2000)

5.2.6 Aumentar a flexibilidade de saída

Refere-se à possibilidade de melhorar as características dos produtos finais sem aumentar significativamente os custos. Isso só é possível se os níveis de produtividade forem altos, compensando os custos a mais com flexibilidade com a eficiência na produção.

Exemplos de aplicação na construção civil:

- 1) Utilizar lajes planas em apartamentos é vantajoso para possíveis mudanças de layout ao longo de sua vida útil, sem ter a preocupação da localização das vigas, dando mais flexibilidade à mudanças ao produto;
- 2) Utilização de divisórias internas de drywall em apartamentos, pois pode-se adiar a execução destas no tempo mais tarde possível dentro do processo de produção para customizar o layout aos desejos dos clientes, sem comprometer significativamente o processo.

5.2.7 Aumentar a transparência do processo

Aumentar a transparência do processo significa tornar as informações mais disponíveis e os erros mais fáceis de serem identificados, facilitando o trabalho.

A remoção de obstáculos visuais (ex: divisórias e tapumes) e o emprego de dispositivos visuais que disponibilizam informações para a gestão da produção são exemplos práticos de aplicação.

5.2.8 Focar o controle no processo global

O controle do processo global possibilita identificar e corrigir desvios ou erros que venham a interferir no prazo da obra. Na tentativa de melhorias de uma atividade específica dentro de um processo, um dos riscos é ter um impacto negativo no desempenho global. Por isso, é fundamental ter definido quem tem responsabilidade pelo controle global do processo, devendo este entender o processo como um todo ao invés de restringir-se a algumas tarefas.

Uma aplicação prática seria a escolha de um fornecedor que entregasse blocos de alvenaria paletizados. Isso reduz significativamente o custo com carga e descarga.

5.2.9 Introduzir melhora contínua no processo

Reduzir perdas, aumentar o valor na gestão de processos, fazer um controle de qualidade, etc devem ser almejados continuamente, com uma equipe responsável por isso.

Trabalho em equipe e gestão participativa são essenciais para a melhora contínua e, como formas de incentivo e reconhecimento, pode-se usar indicadores de desempenho e prêmios por cumprimento de tarefas, por exemplo.

5.2.10 Manter um equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões

No processo de produção há diferenças de potencial de melhoria em conversões e fluxos. Geralmente, quanto maior é a complexidade do processo de

produção, maior é o impacto das melhorias e quanto maiores os desperdícios existentes no processo, maiores os benefícios nos fluxos.

Segundo KOSKELA (1992), as melhorias de fluxo e conversão estão intimamente ligadas pois melhores fluxos requerem menor capacidade de conversão e, por isso, menores investimentos em equipamentos; fluxos mais controlados são melhores se implementar novas tecnologias na conversão, o que pode gerar menos variabilidade e, conseqüentemente, benefícios no fluxo.

Exemplo prático:

1) Num sistema de execução de paredes de blocos cerâmicos, é preciso atenção no transporte, inspeção e no armazenamento (fluxo). Quando se atinge um elevado nível de racionalização, passa-se a pensar na possibilidade de se introduzir uma tecnologia construtiva diferente, como divisórias leves ou pré-fabricados (conversão).

5.2.11 Fazer benchmarking

Benchmarking consiste em espelhar-se em práticas adotadas em empresas consideradas líderes no segmento ou no aspecto específico da produção. Faz parte do processo de aprendizagem de uma empresa, principalmente num esforço de melhoria contínua, adotar boas práticas observadas em outras empresas. O trabalho de *benchmarking* deve ser atualizado constantemente.

Segundo ARANTES (2010), seis etapas habitualmente dividem essa prática:

- 1) Planejamento:
 - a) Identificação de áreas, processos ou atividades a serem melhoradas;
 - b) Definição de critérios e indicadores para medição das atividades;
 - c) Identificação de organizações participantes/parceiras;
- 2) Recolha de dados;
- 3) Análises e Comparações;
- 4) Elaboração e Implementação do Plano de Mudanças;
- 5) Avaliar Melhorias;
- 6) Repetição do Exercício.

6 FERRAMENTAS DA LEAN CONSTRUCTION

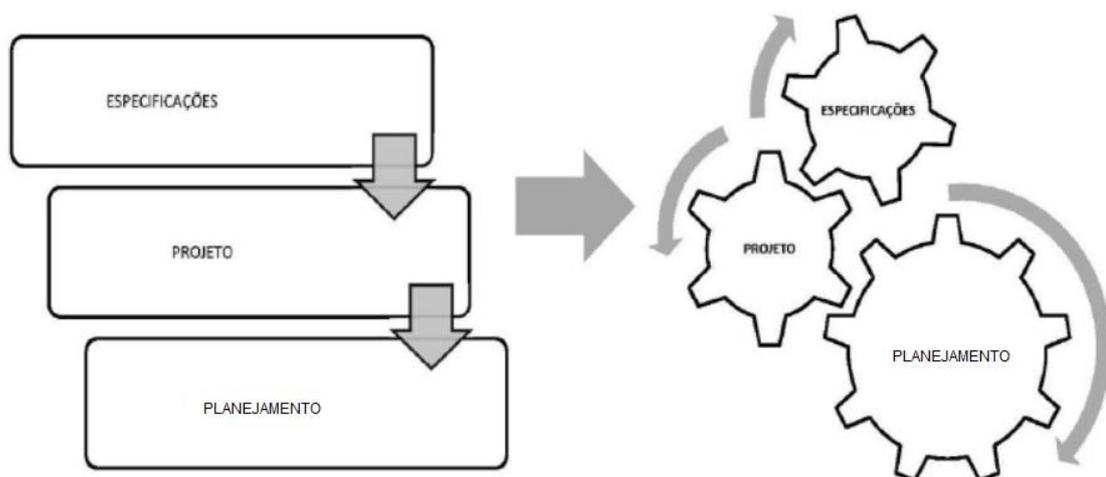
Neste capítulo serão apresentadas algumas ferramentas que surgem da filosofia *Lean Construction* para que seja possível a aplicação de suas teorias e princípios.

6.1 Engenharia simultânea

“Engenharia Simultânea é uma abordagem sistêmica para integrar, simultaneamente o projeto do produto com os seus processos, incluindo manufatura e suporte. Essa abordagem é procurada para mobilizar os projetistas, no início, para considerar todos os elementos do ciclo de vida da concepção até a disposição, incluindo controle da qualidade, custos, prazos e necessidades dos clientes” (*Institute for Defense Analyses – IDA, 1988*).

É uma ferramenta importante para o correto planejamento e previsão de situações de risco ou de tarefas de maior complexidade. Os processos de obra podem ser planejados com mais eficácia se elaborados em conjunto entre todos os projetistas, para que os elementos construtivos e até mesmo trabalhadores sejam melhor conjugados.

Figura 18. Processo escalonado x Processo iterativo



Fonte: Pinto, Jorge (2012)

A utilização de processos iterativos na especificação e elaboração das várias especialidades dos projetos implica na redução de falhas de comunicação e de compatibilidade entre os projetos, processos ou tarefas.

6.2 Mapeamento do fluxo de valor

Essa ferramenta está associada ao princípio citado em 5.1.2, e mapear o fluxo de valor de um produto significa identificar e classificar todas as atividades necessárias para a execução de uma determinada tarefa, a fim de eliminar as etapas que podem trazer desperdícios.

O mapeamento divide-se em quatro etapas:

- 1) Escolher os produtos a serem mapeados;
- 2) Desenhar o estado atual (desde o fornecedor até o cliente);
- 3) Desenhar o estado futuro (o que se almeja, eliminando os desperdícios encontrados no estado atual);
- 4) Elaborar o plano de trabalho (para alcançar os objetivos desejados no ponto anterior).

6.3 Células de produção

Conforme Rother e Harris (2002): “Uma célula é um arranjo de pessoas, máquinas, materiais e métodos em que as etapas do processo estão próximas e ocorrem em ordem sequencial, através do qual as partes são processadas em um fluxo contínuo”.

Para ser possível o seu planejamento, as variáveis de tempo, espaço e informação devem estar bem definidas.

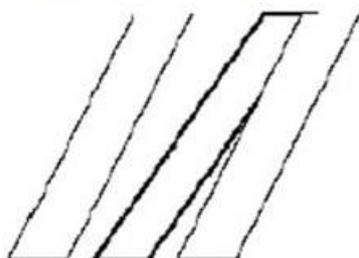
- 1) **Tempo:** os tempos de transferência e espera entre tarefas sequencialmente dependentes são minimizados no ambiente da célula;
- 2) **Espaço:** as tarefas da célula são realizadas próximas fisicamente, o que significa proximidade de equipamentos e operadores. Esse fator é importante para

otimizar o fluxo físico devido à proximidade espacial e, também, pela possibilidade de comunicação direta entre os membros da célula;

3) **Informação:** os responsáveis pela célula devem ter acesso completo às informações pertinentes da célula, desde objetivos, situação dos pedidos, manutenção de equipamentos, etc.

Figura 19. Possíveis situações de células de produção

1) Choque entre as atividades, interrupção de fluxo (não aprovado);

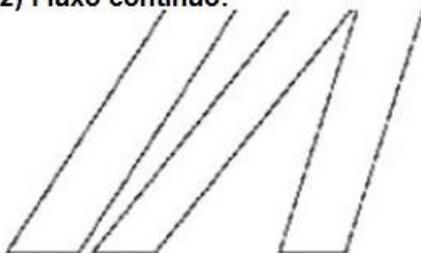


Choque com a célula subsequente

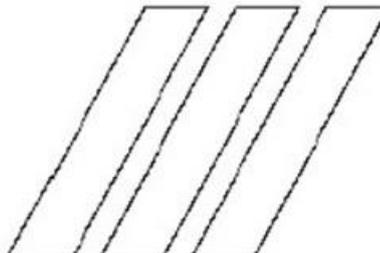


Choque com a célula precedente

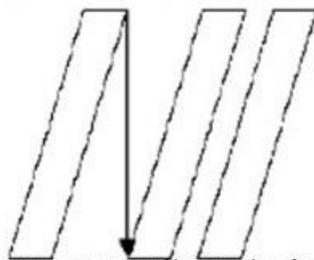
2) Fluxo contínuo:



Células com ritmos diferentes



Células no mesmo ritmo



Células com reaproveitamento de mão de obra ou ligação fim-início



Células com sentidos alternados

Fonte: Ferraz, José (2005), adaptado

6.4 TPM – Total Productivity Maintenance

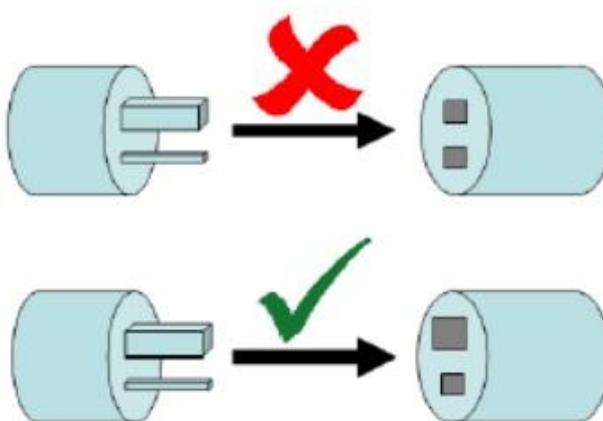
Essa ferramenta é focada na manutenção constante dos equipamentos presentes no canteiro de obras. Isso para garantir que estejam sempre em perfeitas condições de uso e disponíveis para trabalho, garantindo a continuidade dos fluxos.

São diversos os equipamentos utilizados em várias fases da obra e, se algum deles apresenta algum problema em serviço, possivelmente interromperá o ritmo dos trabalhos, diminuindo produtividade e lucro.

6.5 Poka-Yoke (previsão de defeitos)

Esta ferramenta parte do princípio que os humanos são passíveis de falhas, e por isso, o *poka-yoke* é um sistema de detecção e aviso de erros, que assume tarefas repetitivas e que depende da memória. Ou seja, associado a uma operação impede a execução irregular de uma atividade. Estes sistemas podem apenas sinalizar a falha, mas os resultados obtidos com a sua utilização dependem da forma como são integrados. O ideal para atingir “zero defeitos” será aplicar o sistema de forma a detectar os erros antes que estes constituam defeitos, eliminando-os por completo (ARANTES, 2008).

Figura 20. Sistema de detecção de erros (*Poka-Yoke*)



Fonte: Pinto, Jorge (2012)

6.6 Takt time

Esta ferramenta descreve o alinhamento temporal entre a necessidade do consumidor final e o nivelamento da produção que define quantos produtos devem ser produzidos para satisfazer as necessidades do consumidor e definir um ritmo constante de trabalho (PINTO, 2012).

No planejamento de obras deve ser efetuado um planejamento conforme prazo de execução, que permita definir de forma plausível quais os ritmos de recebimento de materiais, carga de trabalho, a dimensão das equipes e até mesmo quantas frentes de obra devem ser definidas para que a obra se desenrole dentro dos parâmetros de custo e prazos. Este fator de ritmo permite o controle dos desperdícios e o planejamento sustentado, ao mesmo tempo que responde às exigências da crescente necessidade de prazos mais curtos, soluções de projeto e soluções tecnológicas mais complexas e ainda a um maior nível de qualidade.

6.7 Kanban (etiqueta/quadro)

É uma ferramenta que viabiliza a produção *just-in-time*, permitindo a comunicação entre o cliente (que pode ser interno) e o fornecedor. É o método de puxar a produção a partir da procura, determinando o ritmo da produção pela circulação de *kanbans*, que por sua vez é determinado pelo consumo de produtos.

Segundo ARANTES (2008), seus principais objetivos são:

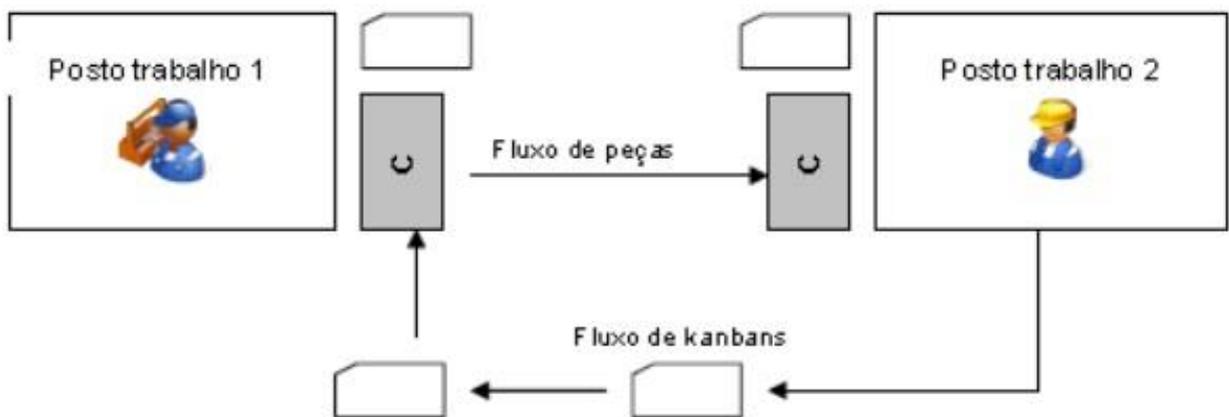
- 1) Regular internamente as flutuações da procura e o volume de produção dos postos de trabalho a fim de evitar a transmissão e ampliação dessas flutuações;
- 2) Minimizar as flutuações do estoque de fabricação com o objetivo de melhorar a gestão (a meta é o estoque zero);
- 3) Regular as flutuações do estoque de fabricação entre os postos de trabalho devido a diferenças de capacidade entre estes;
- 4) Produzir a quantidade solicitada no momento em que é solicitado.

Para que o método *kanban* seja eficiente é preciso obedecer a quatro regras de funcionamento:

- 1) O cliente só deve retirar peças do estoque quando isso for realmente necessário;
- 2) O fornecedor só pode produzir peças das quais tenha *kanbans* de produção e nas quantidades nestes especificadas;
- 3) Apenas peças em perfeitas condições podem ser colocadas em estoque;
- 4) Os cartões devem ficar nos containers cheios ou no Quadro *Kanban*.

Na Figura 21, demonstra-se o posto de trabalho 2 consumindo as peças produzidas pelo posto de trabalho 1. A cada vez que o posto 2 utiliza um container de peças fabricadas pelo posto 1 retira-lhe o cartão e manda para o posto de trabalho 1, ficando este cartão constituído como uma ordem de fabricação.

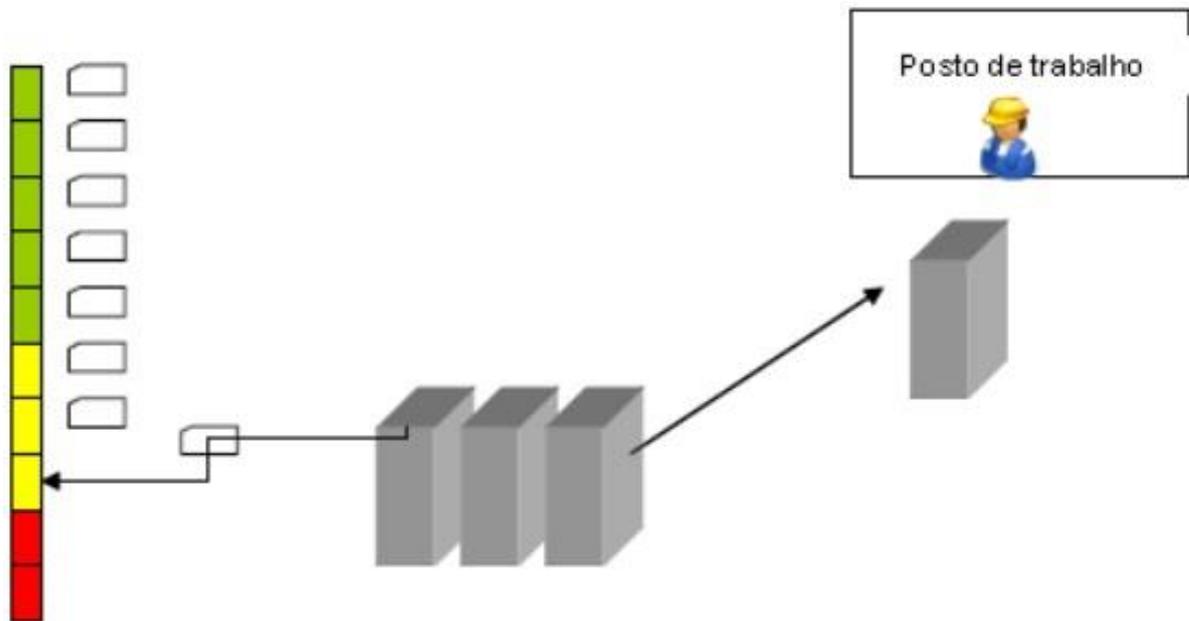
Figura 21. Procedimento de utilização de cartões *kanban* em containers



Fonte: Arantes, Paula (2008)

A figura 22 demonstra outra forma de trabalhar com o método *kanban*. Há um quadro, colocado em local visível, que tem 3 níveis onde podem ser colocados os cartões. No nível verde não há a necessidade de se produzir mais peças, mas quando se usa uma caixa, um cartão entra para o quadro, e quando já houve cartões no nível amarelo é preciso começar a produzir peças. Quando tiver peças produzidas em estoque, retiram-se do quadro tantos cartões quanto as caixas disponíveis.

Figura 22. Procedimento de utilização de cartões *kanban* em quadro



Fonte: Arantes, Paula (2008)

A utilização de *kanbans* traz os seguintes benefícios:

- 1) Fornecer aos utilizadores o que eles querem, quando eles querem, pelo sistema de “puxar” os materiais dos fornecedores;
- 2) Apoiar a redução de estoques de materiais;
- 3) Redução de burocracia em papel para encomendas ou pelo aumento das quantidades de materiais;
- 4) Facilitar a racionalização de materiais;
- 5) Reduzir os ciclos de aquisição de materiais;
- 6) Eliminar variações do ritmo de trabalho/encomendas;
- 7) Contribuir para a melhoria contínua;
- 8) Agir como um catalisador nos métodos de aquisição;
- 9) Simplificar a gestão, processos de aquisição, armazenamento distribuição e eliminação de materiais.

6.8 Cinco S (5S)

Segundo ARANTES (2008), os 5S são uma ferramenta de apoio à melhoria dos processos e métodos de trabalho, e promovem um espírito de rigor, disciplina e organização no posto de trabalho.

Figura 23. Os cinco S



Fonte: Pinto, Jorge (2012)

- 1) **Seiri (Utilização)** – o primeiro passo consiste em classificar os materiais em necessários e desnecessários, eliminando os últimos. Podem ser colocadas etiquetas vermelhas ou outra identificação nestes elementos de modo a que todos os identifiquem como desnecessários.
- 2) **Seiton (Organização)** – organizar os materiais que ficam depois do seiri, assim minimizará o tempo de procura dos mesmos.

- 3) **Seisou (Limpeza)** – limpar as máquinas, ferramentas e locais de trabalho. Permite uma verificação do estado dos equipamentos e locais procedendo-se a reparações quando necessário.
- 4) **Seiketsu (Saúde/Normalização)** – passar o conhecimento destes procedimentos aos trabalhadores e praticar continuamente as etapas anteriores, pois com um ambiente mais limpo, há grande chance de os funcionários também buscarem maior cuidado com o visual e com a saúde pessoal, garantindo ainda mais equilíbrio e bom desempenho no trabalho.
- 5) **Shitsuke (Disciplina)** – desenvolver autodisciplina e criar o hábito de envolver os trabalhadores no 5S estabelecendo padrões.

As vantagens da aplicação da ferramenta vão desde a criação de um ambiente de trabalho mais limpo, agradável e seguro; a possibilidade de eliminar desperdícios, tempo de procura de materiais ou excesso de espaço ocupado; diminuição dos riscos de acidentes promovendo uma atitude preventiva e reduzindo possíveis meios poluentes; até fazer aparecer anomalias como atrasos de entregas e escassez de materiais.

6.9 Last Planner System

Esta ferramenta foi proposta pelo inglês Glenn Ballard e provavelmente é a mais adaptada para a realidade da construção civil, pois foi criada já com base nos princípios da *Lean Construction*.

As várias etapas que constituem um empreendimento de construção são programadas e organizadas em diferentes níveis da empresa, por responsáveis diversos e em alturas distintas. Numa fase próxima da execução cabe a alguém decidir quando e que trabalho deverá ser executado, essa pessoa pode ser considerada o *Last Planner*. Este aborda as operações de planejamento e controle a curto prazo. O objetivo é assegurar, através de diversos procedimentos e ferramentas, que todos os pré-requisitos e condicionantes de uma atividade estão resolvidos quando esta começa, de forma a permitir que esta seja executada sem perturbações e concluída de acordo com o previsto.

Esta ferramenta propõe que se comparem semanalmente as atividades que foram efetivamente realizadas com as que estavam planejadas de forma a calcular um índice que se designa PPC – Percentual de Planejamento Concluído. É assim possível indagar a causa da não execução do planejado procurando prevenir que no futuro tal não aconteça.

Figura 24. Organograma com Percentual de Planejamento Concluído

	Título	Id	Horas Previstas	Horas Realizada	%C	%C Prev	Início Previsto	Início Realizado	Fim Previsto
1	Projeto - Demanda 12751	239	700:00	00:55	12,00%	1,43%	21/12/2010	21/12/2010	28/02/2011
2	Atividade 1	5763	700:00	00:55	12,00%	1,43%	21/12/2010	21/12/2010	28/02/2011
3	Tarefa 1	15944	16:00	00:50	60,00%	50,00%	21/12/2010	21/12/2010	22/12/2010
4	Tarefa 2	15945	400:00	00:05	10,00%	1,43%	21/12/2010	21/12/2010	28/02/2011

- Projeto - Atividade - Atividade de Grupo - Atividade Marco - Tarefa - Tarefa de Grupo
 - Designada - Em Andamento - Concluída - Suspensa - Cancelada - Designada - Atrasada para Iniciar - Em Andamento - Atrasada para Concluir
 - Documento Anexo - Demanda Anexa - Lista de Verificação Preenchida - Lista de Verificação Não Preenchida - Atividade com Aprovações Pendentes

Fonte: Pinto, Jorge (2012)

No entanto, o *Last Planner* não se preocupa apenas em controlar o andamento das atividades mas também analisa o planejamento para as semanas seguintes de forma a não permitir estrangulamentos ao início das atividades, protegendo assim a produção (*shielding production*).

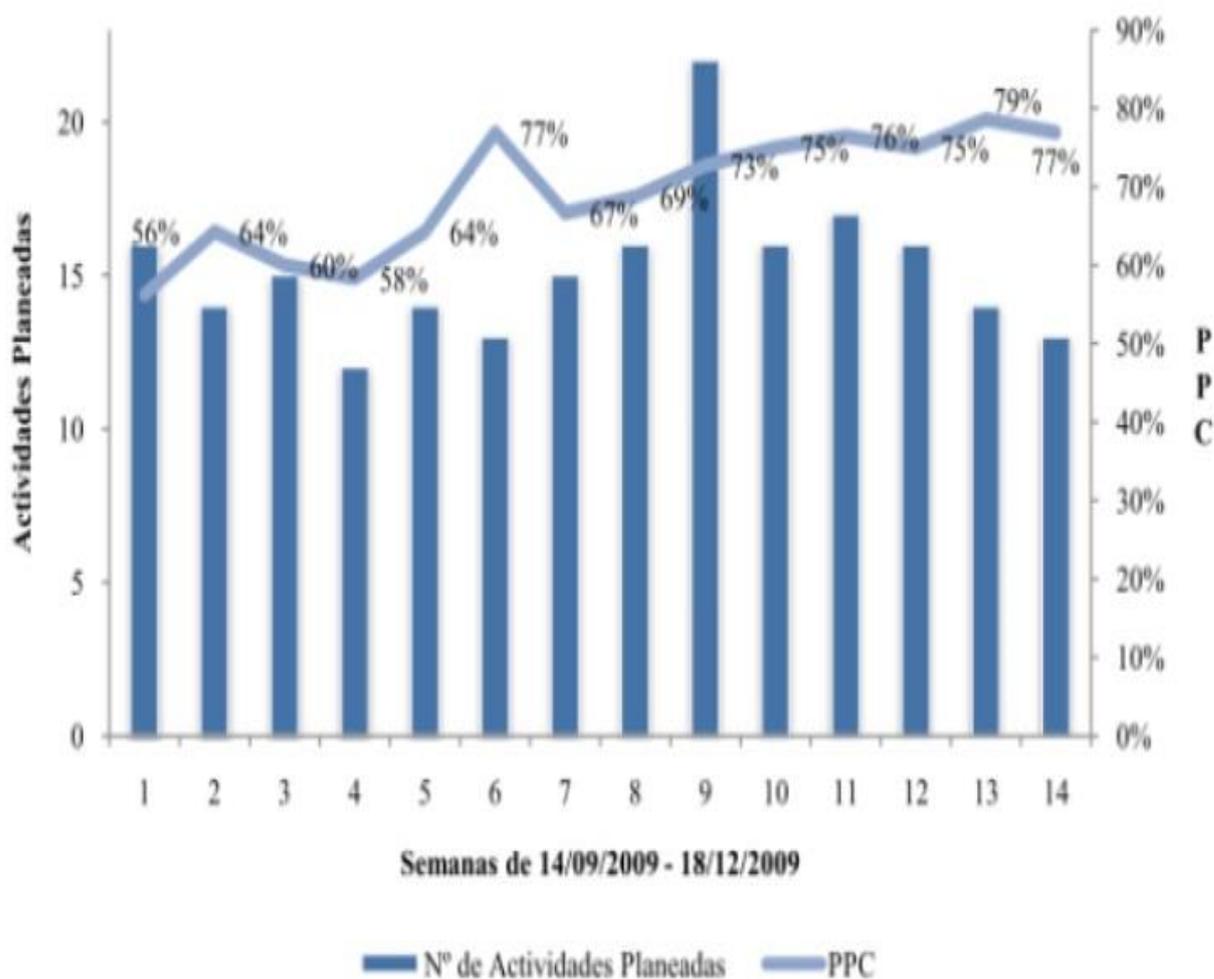
Ballard (2000), resume o Last Planner a três níveis de planejamento: longo prazo, médio prazo e curto prazo:

- 1) **Planejamento de longo prazo:** refere-se ao nível estratégico do planejamento com horizonte de tempo longo, também denominado de *Master Plan* (Plano Mestre). São definidos o escopo e as metas a serem alcançadas a longo prazo durante todo o período de execução da obra. Como o grau de incerteza neste plano é enorme, os detalhes são mais gerais;
- 2) **Planejamento de médio prazo:** refere-se ao nível tático do planejamento com horizonte de tempo médio, denominado de *Look Ahead Planning* (planejamento olhando para frente). Este planejamento tende a ser móvel, de acordo com o zoneamento estabelecido;

3) **Planejamento de curto prazo:** refere-se ao nível operacional da execução da obra, também denominado de *weekly planning* (planejamento semanal). São atribuídos os recursos físicos às atividades programadas do plano de médio prazo e seu fracionamento em lotes menores de atividades.

Um exemplo da aplicação desta ferramenta à construção civil foi na empresa portuguesa Norlabor – Engenharia e Construção, que a partir aplicação do método, em 14 semanas obteve um aumento dos valores de PPC de 56% para uma média de 77%.

Figura 25. Método Last Planner aplicado à empresa Norlabor – Engenharia e Construção S.A.



Fonte: Pinto, Jorge (2012)

6.10 Oportunidades de aplicação do *Lean Thinking* na Construção

Este item não se trata de mais uma ferramenta, mas sim de uma compilação das informações que foram dadas até agora. A partir dos princípios de Womack e Jones (1998), os princípios de Koskela (1992) e as ferramentas expostas desde o capítulo 5 até aqui, são apresentados a seguir dois quadros que propõe uma visão esquemática conectando-os, mostrando qual ferramenta utilizar para cada caso.

Figura 26. Uma visão das conexões entre objetivos, princípios, elementos fundamentais e ferramentas *lean*

Objetivos	Princípios	Elementos fundamentais	Exemplos de ferramentas
Melhorar continuamente a competitividade da empresa através de: - eliminação dos desperdícios; - consistente-mente atender aos requisitos dos clientes em variedade, qualidade, quantidade, tempo, preço	VALOR	Pacote produto/serviço de valor ampliado	- Variedade de produtos planejada
		Redução de <i>lead times</i>	- Engenharia simultânea
	FLUXO DE VALOR	Alta agregação de valor na empresa estendida	- Mapeamento do fluxo de valor - Parcerias com fornecedores
		FLUXO	Produção em fluxo
			Trabalho padronizado
	PUXAR	Produção e entrega <i>just-in-time</i>	- Takt Time (ritmo da demanda) - Kanban - Nivelamento da Produção
		Recursos flexíveis	- <i>Set-up</i> rápido - Equipamentos flexíveis - Multifuncionalidade de operadores
	PERFEIÇÃO	Aprendizado rápido e sistematizado	- Equipes autogerenciáveis - Cinco por quês - Programa de sugestões - 5S
Foco comum		- Compromissos da Direção da empresa com os funcionários - Treinamento de todos na empresa e fornecedores nos princípios e ferramentas <i>lean</i> - Simplicidade na comunicação	

Fonte: Picchi (2003)

Na figura 27, os princípios de Koskela são separados em 2 níveis: nível 1 é mais geral e nível 2 mais específico. No nível 1 são muito semelhantes a alguns elementos fundamentais de Picchi (2000) e no nível 2 se aproximam mais das ferramentas.

Figura 27. Comparação entre os cinco princípios de Womack e Jones (1998), elementos fundamentais *lean* conforme Picchi e os princípios de Koskela (1992)

Cinco Princípios do <i>Lean Thinking</i> (WOMACK; JONES, 1998)	Elementos fundamentais (PICCHI, 2000)	Onze Princípios para desenho de processos (KOSKELA, 1992)	
		Nível 1	Nível 2
VALOR	Pacote produto/serviço de valor ampliado	- aumentar o valor do produto através da consideração sistemática dos requisitos dos clientes	
	Redução de <i>lead times</i>	- reduzir o tempo de ciclo	
FLUXO DE VALOR	Alta agregação de valor na empresa estendida	- Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor	- simplificar através da redução de passos, partes e ligações - Focar o controle no processo global - Manter equilíbrio entre melhorias de fluxo e nas conversões
FLUXO	Produção em fluxo		- Reduzir a variabilidade
	Trabalho padronizado		- Aumentar a transparência do processo
PUXAR	Produção e entrega <i>just-in-time</i>		
	Recursos flexíveis	- aumentar a flexibilidade de saída	
PERFEIÇÃO	Aprendizado rápido e sistematizado	- Introduzir melhoria contínua no processo	- Fazer <i>benchmarking</i>
	Foco comum		

Fonte: Picchi (2003)

7 METODOLOGIA DE PESQUISA

7.1 Características do empreendimento

- Empresa: Multi Construtora e Incorporadora Ltda;
- Objeto: construção de 4 torres comerciais com 6 subsolos 15 pavimentos;
- Endereço: SCN Quadra 04 Bloco A (Quadra CN-2 Lota J);
- Área total do terreno: 6400 m²;
- Área total de construção: 120.000 m²;
- Projeto de arquitetura: Carlos Bratke
- Projeto e cálculo estrutural: Massaro Tanizaki
- Projeto de instalações elétricas, telefonia, hidrossanitárias e contra-incêndio: Sten Serviços Técnicos em Engenharia SC Ltda;
- Projeto de fundações: Embre – Empresa Brasileira de Engenharia e Fundação Ltda;
- Projeto de ar condicionado: Termacon Projetos e Consultoria Ltda;
- Consultoria no planejamento: Faber Engenharia Ltda.;
- O pesquisador deste trabalho consta no quadro da obra como estagiário;

Figura 28. Projeção das torres em softwares



Figura 29. Projeção das torres em softwares

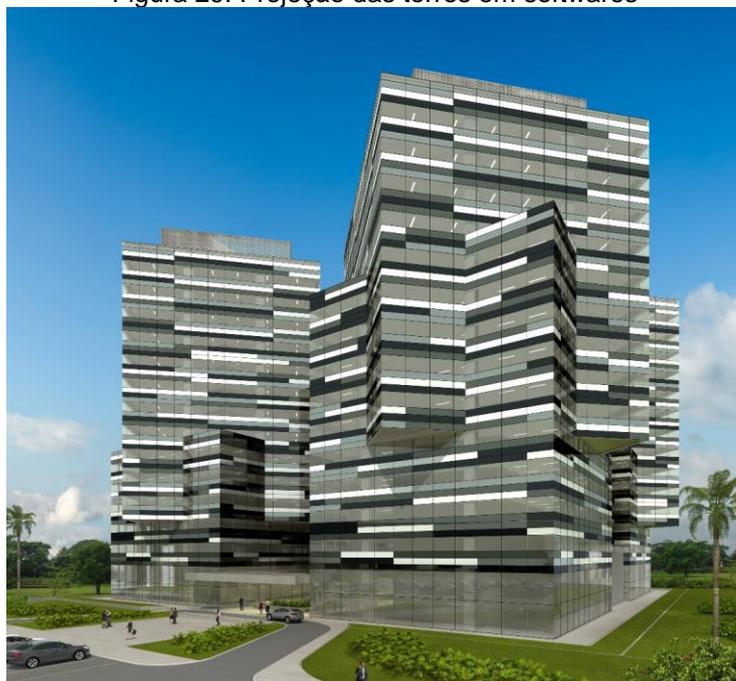
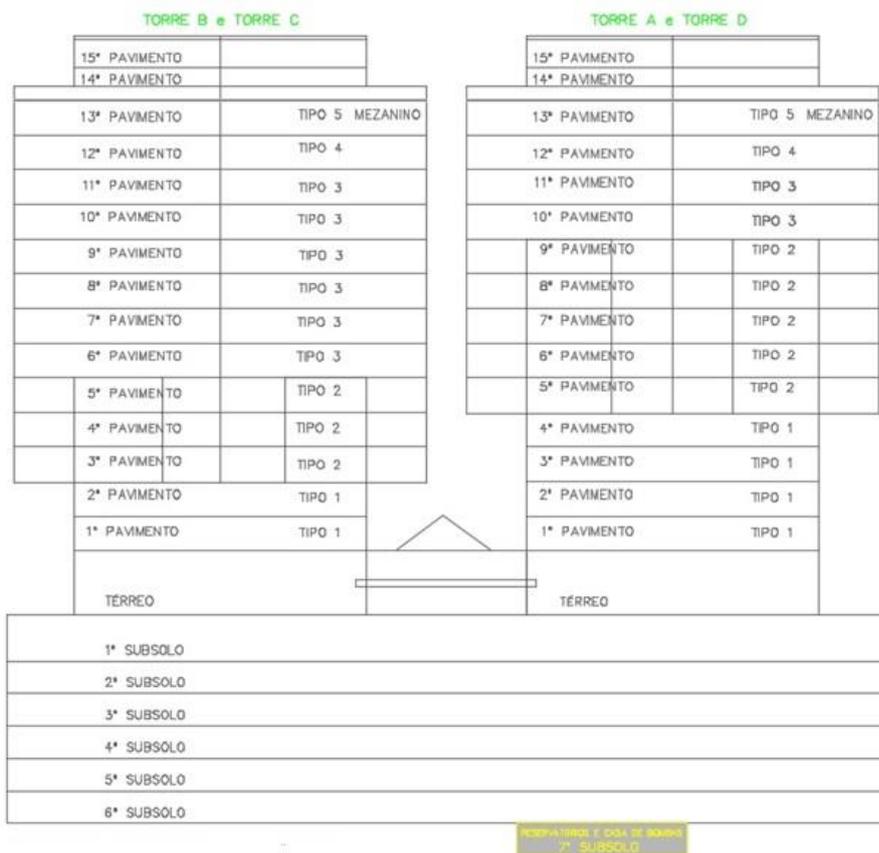


Figura 30. Corte esquemático das torres



Os pavimentos são dispostos da seguinte maneira:

- 7º SS: Reservatórios e casa de bombas;
- 1º ao 6º SS: estacionamento – no total 1586 vagas, sendo 18 PNE's;
- Térreo: 8 lojas, acesso às torres, teatro, auditório, sala de convenções e galeria;
- 1º ao 15º pavimento: salas comerciais.

7.2 Locação da obra

A obra em estudo localiza-se na Asa Norte, Distrito Federal, no Setor Comercial Norte, Quadra 4, Bloco A. O empreendimento fica próximo ao Liberty Mall, Brasília Shopping, ao Setor Hoteleiro Norte, Edifício Varig e etc.

Figura 31. Locação da obra

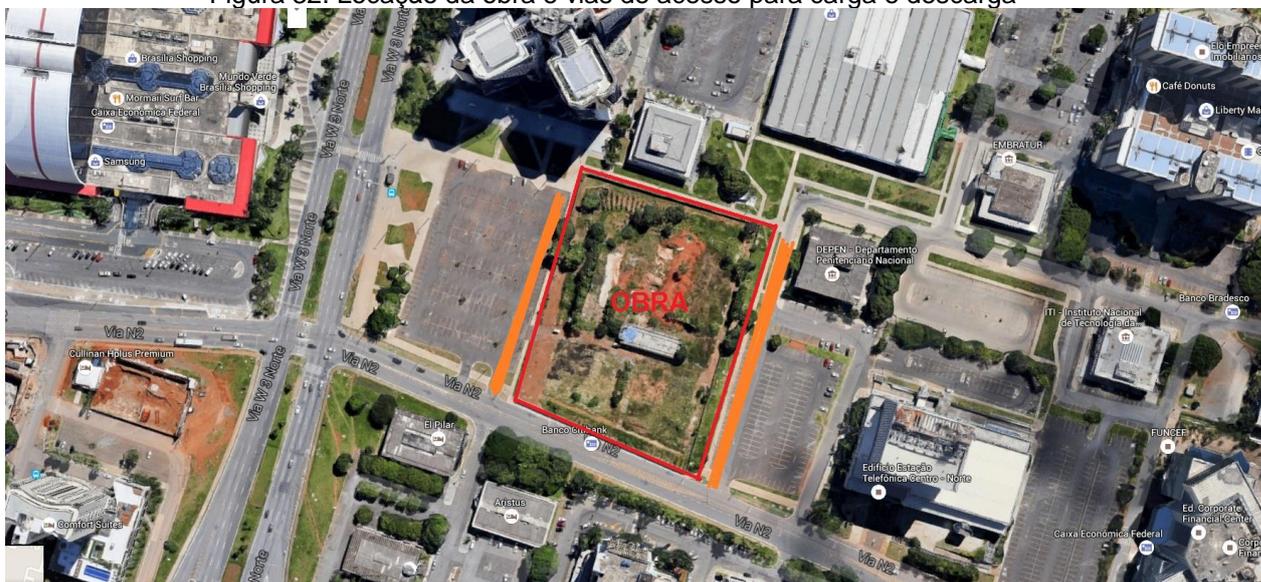


Fonte: Google Maps

7.3 Acessos ao canteiro

Existem duas vias que dão acesso ao empreendimento (destacadas em laranja na figura 33), ambas com estacionamentos nos limites do lote. Essas vias tem fácil ligação com a W3 Norte, uma das principais vias do Distrito Federal.

Figura 32. Localização da obra e vias de acesso para carga e descarga



Fonte: Google Maps

7.4 Cadeia de suprimentos

Há na obra um funcionário responsável apenas pela compra de materiais. Sua função é garantir que os materiais cheguem na obra somente no momento em que forem necessários para as tarefas, segundo o princípio *just in time*.

Também faz o controle para que não falte nem sobre materiais nas frentes de serviço, a partir de informações obtidas nas reuniões com a equipe de engenharia. Esse controle de estoque é feito pelo método convencional, por meio de planilhas, não sendo usado nenhum software online integrado.

Porém, a empresa utiliza um software com sistema online integrado da empresa, onde são lançadas todas as compras feitas na obra e a equipe facilmente pode acessar essas informações.

A empresa faz parceria com alguns fornecedores para, além de garantir melhores preços, garantir um melhor atendimento de sua demanda, sendo os materiais entregues conforme a necessidade da obra, evitando assim gargalos no fluxo produtivo.

7.5 Gestão de projetos

O período de elaboração dos projetos foi do empreendimento foi de 7 meses. Para otimizá-lo foram escolhidas soluções com o máximo de padronização e simplicidade possível, sem esquecer do valor e exigências técnicas desejadas.

Há um arquiteto contratado responsável apenas pela compatibilização dos projetos, para garantir que não ocorram problemas no momento da execução.

Cita-se como exemplo de otimização a técnica construtiva escolhida para a fachada, pele de vidro unitizada. As peças são modulares e são fixadas em perfis metálicos e encaixadas umas nas outras com encaixe tipo macho-fêmea. Serão montadas por dentro do pavimento, as peças subirão pela cremalheira. Não há sequer a necessidade de montagem de andaimes e o rendimento da tarefa é alto, além da boa aparência estética.

Também a escolha do tipo de escoramento e fôrmas dos pilares, que são metálicos. O rendimento de uma laje ou um pilar montado com fôrma de madeira é de $0,85Hh/m^2$, enquanto com fôrma metálica é $0,2Hh/m^2$, segundo a Tabela de Composição de Preços e Orçamentos (TCPO 2014), ou seja, a simplicidade da fôrma metálica faz com que os prazos de cada ciclo da estrutura sejam menores, bem como redução com custo de mão de obra.

7.6 Implantação

A situação para implantação do canteiro de obras está ilustrada na Figura 34. Nos dois vizinhos há estacionamento público. Na área do terreno, o espaço para canteiro será limitado pois na maior parte da área (área hachurada e onde há a projeção dos edifícios) estão previstas escavações dos subsolos.

Figura 33. Instalação do empreendimento

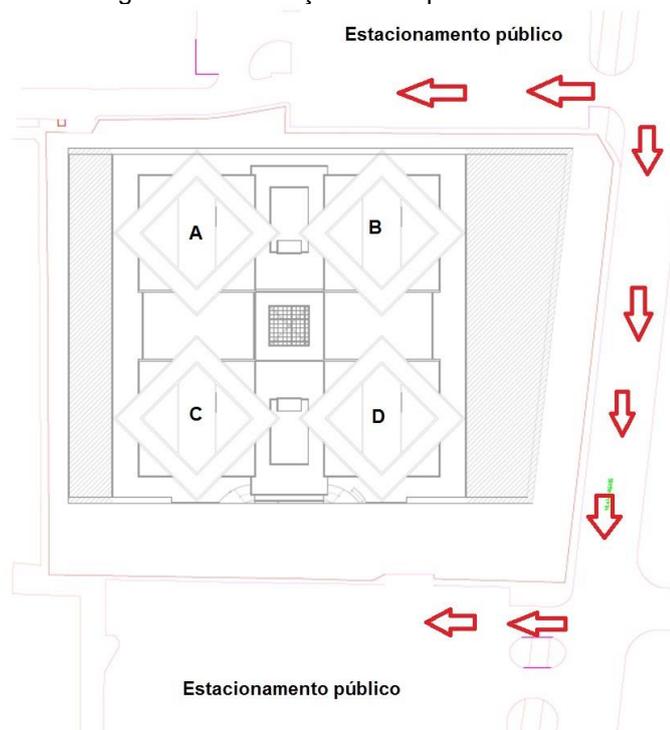


Tabela 2. Quadro de áreas

Quadro de áreas		
Área do terreno	12.077	m ²
Área de escavação	8.628	m ²
Área disponível para canteiro no térreo	3.449	m ²
Área construída	120.000	m ²

7.7 Cronograma físico e técnicas construtivas

O cronograma físico da obra completo está apresentado nos anexos, mas na figura 34 é apresentado um cronograma simplificado, de onde são extraídas informações importantes para algumas decisões e planejamentos.

Figura 34. Cronograma físico simplificado

	ago/14	set/14	out/14	nov/14	dez/14	jan/15	fev/15	mar/15	abr/15	mai/15	jun/15	jul/15	ago/15	set/15	out/15	nov/15	dez/15	jan/16	fev/16	mar/16	abr/16		
Escavação	█																						
Contenção	█	█	█																				
Fundação																					B		
Estrutura																							B
Instalações																							
Fachada																							
	mai/16	jun/16	jul/16	ago/16	set/16	out/16	nov/16	dez/16	jan/17	fev/17	mar/17	abr/17	mai/17	jun/17	jul/17	ago/17	set/17	out/17	nov/17	dez/17	jan/18		
Escavação																							
Contenção																							
Fundação		D		Ce D	C			A		A													
Estrutura	B	B	B	B	Be		B, Ce D			B, Ce D		A, B, Ce D									Ae	A	
Instalações																							
Fachada																					B	B	
	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	
Escavação																							
Contenção																							
Fundação																							
Estrutura	A	A	A	A	A																		
Instalações																							
Fachada	B	B	B	D	D		Ce D	C			A	A	A	A	A								

- tempo previsto de obra: 5 anos e 4 meses (início: 01/07/14; fim: 01/11/19);

- contenção: em virtude da escavação ser muito profunda (27,5m), optou-se por realizar a contenção em estacas hélices com vigas de travamento nas lajes dos subsolos e tirantes a cada 2m;

Obs: a estaca hélice é realizada antes da escavação, porém as vigas da contenção e os tirantes só são possíveis de serem executados após a escavação ser realizada. Portanto, a escavação e a contenção são tarefas interdependentes, ou seja, uma depende da outra. Logo, se a escavação atrasar, a contenção também atrasa.

- escavação: (início:15/08/14; fim: 30/12/16);

- estrutura: as torres B, D e C iniciam-se antes do término da escavação.

Conforme são liberadas suas áreas, é dado o arranque;

-fachada: pele de vidro unitizado fixado em alumínio, módulos de encaixe tipo macho-fêmea;

O número de funcionários é em média de 90 a 150 operários. Na fase de pico pode chegar a 400 operários no canteiro.

7.8 Canteiro de obras

O canteiro de obras, por ser o espaço para a transformação em realidade de todo o trabalho de concepção de uma obra, acaba recebendo influências de todas as atividades que dizem respeito a um empreendimento. Sendo assim, sua própria concepção acaba se dando através de um processo interativo, onde cada modificação quanto à concepção da obra acaba gerando uma melhor solução para o mesmo.

É necessário um estudo prévio para implementação do canteiro que compreenda as condições positivas e negativas da área, a escolha do tipo de instalações fixas, os meios de apoio necessários à produção de obra, a disposição dessas instalações e meios no espaço disponível, a execução de algumas infra-estruturas indispensáveis para a execução da obra, as exigências regulamentares de segurança, higiene, sinalização, entre outros, e a possível adaptação do canteiro às diferentes fases da obra.

De acordo com Borba (1998), os princípios a serem respeitados na elaboração do layout do de um canteiro de obras são:

- 1) Integração de todos os elementos e fatores: almoxarifados, entradas e saídas para operários distintos, para os clientes, disposição dos equipamentos etc.;
- 2) Mínima distância: o transporte nada produz, portanto deve ser minimizado e se possível eliminado;
- 3) Obediência do fluxo de operações: evitar cruzamentos, retornos, interferências e congestionamentos;
- 4) Racionalização do espaço: aproveitar as quatro dimensões (geométrica e temporal) – subsolo, espaços superiores para transportar, canalizações, depósitos pouco usados;

- 5) Satisfação e segurança do empregado: um melhor aspecto das áreas de trabalho promove tanto a elevação da moral do trabalhador quanto a redução de riscos de acidentes;
- 6) Flexibilidade: possibilidade de mudança dos equipamentos, quando evoluir ou modificar a linha de produtos – condições atuais e futuras.

Para a fase inicial desta obra, são necessárias as seguintes instalações temporárias:

1) Apoio técnico:

- sala de engenharia;
- sala de reuniões;
- escritório do mestre e técnico;
- escritório de empreiteiros;

2) Áreas de vivência

- recepção / guarita
- cozinha
- refeitório
- instalações sanitárias
- vestiário

3) Ligados à produção:

- central de armação (corte/dobra/pré-montagem)
- central de fôrmas
- almoxarifado de ferramentas
- almoxarifado de empreiteiros
- estoque de barras de aço

Na figura 35 é apresentado o layout do canteiro de obras com as instalações já previstas. Aonde está indicado “Barracão” é uma estrutura de madeirite de 2 pavimentos (300m² por pavimento) aonde estão concentradas o apoio técnico, as áreas de vivência e o almoxarifado.

Na divisa com a Via N2 Oeste, aonde se lê “Projeção da cobertura metálica” é uma área coberta ligada à produção, usada como central de armação e central de fôrmas.

Figura 35. Layout do canteiro de obras

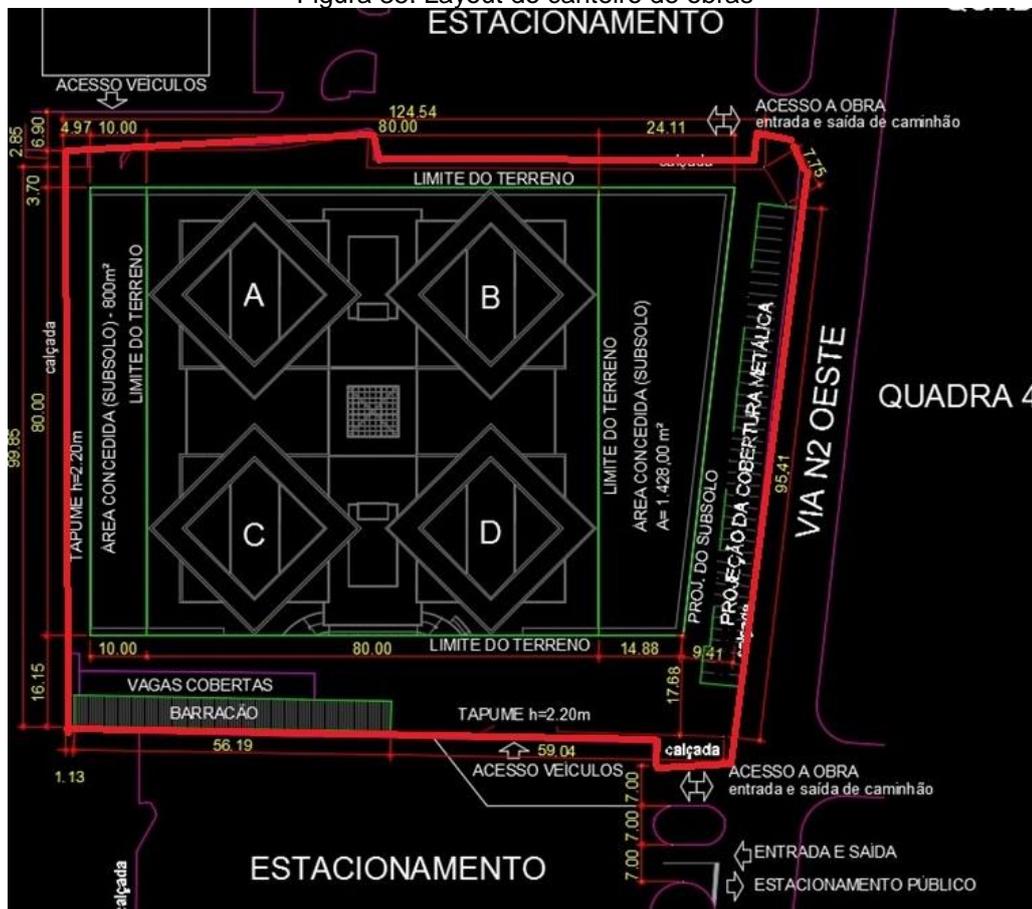


Figura 36. Instalações provisórias de apoio técnico, áreas de vivência e almoxarifado



Um problema verificado com o layout adotado é que para tomar água ou ir ao banheiro, o funcionário precisa se deslocar desde o subsolo até o barracão, gastando no mínimo 10 minutos, além do desgaste físico da subida. Uma solução seria instalar banheiros químicos e bebedouro no subsolo para evitar esse deslocamento.

Figura 37. Instalações provisórias de produção (central de armação e central de fôrmas)



7.8.1 Meios de transporte

Os meios de transporte para carga, descarga e movimentação de materiais escolhidos para o canteiro foram uma grua lança de 50m com capacidade de carga de 2500kg - sendo na ponta da lança apenas 900kg - e um elevador cremalheira para cada torre.

Quando ao posicionamento da grua, SOUZA (1997) especifica que é interessante que se tenha bem definida as datas de entrada e saída do canteiro e também faz as considerações mostradas na tabela 3.

Tabela 3. Considerações adicionais quanto à escolha da grua

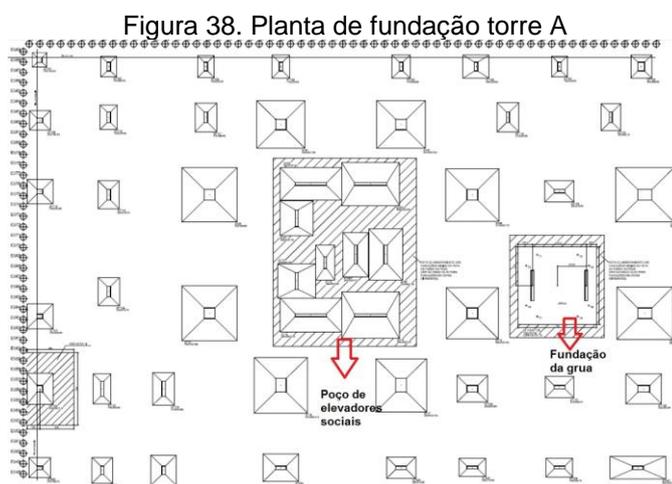
LOCALIZAÇÃO DA GRUA
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Furando a laje? ♦ Usando orifício da laje (p. ex. poço do elevador)? ♦ Distância às construções vizinhas (giro da lança e contralança) ♦ Agilidade nos transportes de concreto, aço, tijolos, etc. ♦ Posição mais adequada para fundações da grua. ♦ Facilidade de montagem e desmontagem da grua.

Fonte: Souza (1997)

Tendo em vista que a grua é necessária desde a fundação da primeira torre a ser construída (torre B) - fase em que se iniciam maiores fluxos de materiais - até o término da obra, a data de entrada da grua em obra foi em outubro de 2015 e a data de saída será ao final da obra, em setembro de 2019.

Como praticamente toda a área do terreno terá edificação construída, ocupada pelas quatro torres, a grua invariavelmente ficará em algum lugar nessa área, pois nas bordas não atenderia o sistema. Escolher um ponto central e deixar uma abertura na laje ao longo dos pavimentos poderia ser uma opção, porém, após a desmontagem da grua seria necessário realizar o preenchimento.

Outra alternativa seria usar a abertura já prevista do poço do elevador, evitando assim ter o trabalho de preencher as lajes após a desmontagem. No empreendimento existem 20 elevadores, sendo 4 elevadores sociais para cada torre e 2 elevadores de serviço para a torre A e 2 para a torre C. Entendeu-se que a posição mais adequada para a fundação da grua seria no elevador de serviço da torre A, conforme figura 38.



Outra vantagem desse posicionamento é a possibilidade de carga e descarga de caminhões sem que estes precisem acessar o terreno, que conta com área muito limitada.

A figura 39 demonstra o raio de alcance da grua, a qual atende as 4 torres satisfatoriamente, facilitando a movimentação de materiais dentro da obra.

Figura 39. Localização e alcance da grua



Figura 40. Localização da grua e início da estrutura da torre B



Contudo, a grua não atende a central de armação, onde é indispensável a sua atuação. Isso limita os armadores a trabalharem apenas com armações leves naquela área, na medida em que sejam capazes de transportá-las até o raio da grua e assim movimentadas até o ponto de aplicação.

Para resolver esse problema, foi necessário criar uma central de armação no próprio subsolo, a céu aberto, localizada na área da torre A (local onde a escavação já encontra-se no ponto final), que será a última a ser iniciada (Figura 41).

Figura 41. Central de armação a céu aberto, ao alcance da grua



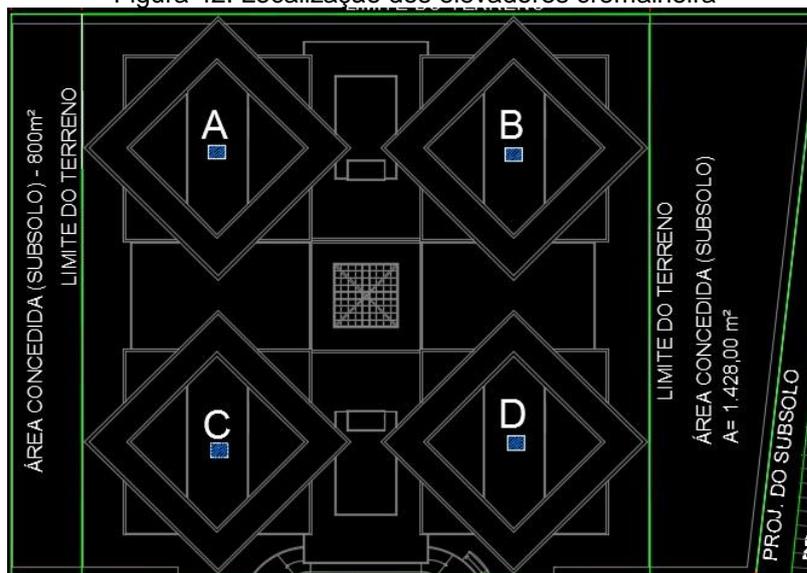
Os elevadores cremalheira serão montados um para cada torre, e cada um com duas cabines. Serão montados bem ao centro das torres, no poço de elevadores, para que os deslocamentos dentro dos pavimentos seja mais prático. Este equipamento terá uma grande importância no transporte de pessoas, agilizando a chegada dos funcionários em seus devidos locais de trabalho. Também transportará materiais, já que ele tem a vantagem de acessar todos os pavimentos da obra. A localização dos elevadores está representada na Figura 42.

Tabela 4. Recomendações quanto à posição do elevador de cargas

LOCALIZAÇÃO DOS ELEVADORES
<ul style="list-style-type: none"> • Distância ao recebimento. • Distância aos estoques. • Distância aos processamentos intermediários; • Distância aos pontos "de entrega". • Segurança quanto à queda de materiais. • Proximidade à casa de máquinas (minimização de rampas). • Minimizar a interferência com outros serviços: paredes com instalações; paredes com revestimentos cerâmicos; • Uso de sacadas. • Chegar em ambiente amplo. • Localizar o segundo elevador próximo ou distante? • Analisar mudanças de canteiro e de materiais a serem transportados ao longo do tempo (p. ex. portões existentes a cada momento, execução de partes da estrutura que impedem acesso, etc.)

Fonte: Souza (1997)

Figura 42. Localização dos elevadores cremalheira



Os elevadores cremalheira tem previsão de instalação nas torres a partir do momento em que houverem duas lajes executadas.

A fim de ter mais uma opção de transporte de materiais durante a execução da estrutura das torres, também se optou por utilizar uma plataforma onde são posicionados os materiais (geralmente fôrmas e escoramentos) para serem içados pela grua.

Figura 43. Plataforma para movimentação de materiais entre pavimentos



7.9 Planejamento usando o *Lean Construction*

Nesta etapa do trabalho foram identificados os princípios e ferramentas da filosofia *Lean Construction* existentes na obra em estudo e as usadas no seu replanejamento, visando a redução do prazo e dos custos.

7.9.1 Identificação dos princípios

7.9.1.1 Valor

No ponto de vista do cliente, que valor está sendo agregado nessa obra? Alguns são apontados a seguir:

- 1) Localização: o empreendimento fica na região central de Brasília, numa das áreas comerciais mais nobres da cidade;
- 2) 6 subsolos, com um total de 1586 vagas, muito importante numa área tão carente de estacionamentos em virtude do alto volume de veículos;

- 3) Lajes isentas de vigas e pilares no interior dos pavimentos tipo (1^o ao 15^o pavimento), dando infinitas opções de planta (figura 45);
- 4) Auditório com capacidade para 299 pessoas (figura 44);
- 5) Sala de convenções com 312m²;
- 6) 8 lojas no térreo;
- 7) Fachada em pele de vidro;

Figura 44. Projeção em 3D do auditório



Figura 45. Planta pavimento tipo; desimpedida de vigas e pilares



7.9.1.2 Redução das atividades que não acrescentam valor

Como foi mostrado no cronograma de atividades, a fase atual da obra é de execução da estrutura da torre B, escavação, contenção e fundações da torre D. As medidas tomadas para reduzir estas parcelas de atividades são: a compra de aço cortado e dobrado direto da fábrica, com agendamento de chegada próximo do dia que o material será utilizado, de acordo com o princípio *just in time*, com o intuito de destinar o tempo hábil dos armadores apenas à montagem prévia das vigas, pilares e armaduras de cisalhamento, subindo-os posteriormente com o auxílio da grua.

O material fica sempre no raio de alcance da grua, evitando assim transportes manuais desnecessários.

7.9.1.3 Reduzir a variabilidade

Para combater a variabilidade, o projeto da obra adotou as soluções com o máximo de uniformidade possível. Do ponto de vista do cliente, a empresa forma parcerias com fornecedores e prestadores de serviços, pois assim pode garantir maior uniformidade do material e na execução.

Do ponto de vista da gestão de processos, quanto mais padronizadas forem as tarefas, menos parcelas que não acrescentam valor existirão. O projeto conta com 4 torres (sendo B e C; e A e D idênticas) e, nos 15 pavimentos acima do térreo, dividiu-se em 5 pavimentos tipo.

7.9.1.4 Reduzir o tempo de ciclo

A frente de trabalho passível de redução do tempo de ciclo observada no caso em estudo é a execução da estrutura, devido a alguns desperdícios observados. O cronograma atual considera um ciclo de 15 dias para o subsolo, com 25 dias para as primeiras lajes pois a equipe não tinha familiaridade com a laje nervurada e o escoramento metálico. Também são considerados 25 dias para a laje do térreo por terem detalhes muito diferentes; do 1º ao 15º pavimento 10 dias por terem área reduzida em relação às lajes do subsolo.

Ressalta-se que apesar de o 5º e 4º subsolo terem sido planejados para um ciclo de 10 dias, na prática foram executados em ciclos de 15 dias.

Figura 46. Cronograma convencional da estrutura da torre B

▲ ESTRUTURA - B	278 d	18%	21%	Seg 14/03/16
EST 7º SUBSOLO - B	25 d	100%	95%	Seg 14/03/16
EST 6º SUBSOLO - B	25 d	100%	100%	Seg 14/03/16
EST 5º SUBSOLO - B	10 d	32%	100%	Qui 21/04/16
EST 4º SUBSOLO - B	10 d	0%	23%	Qui 19/05/16
EST 3º SUBSOLO - B	15 d	0%	0%	Seg 06/06/16
EST 2º SUBSOLO - B	15 d	0%	0%	Ter 28/06/16
EST 1º SUBSOLO - B	15 d	0%	0%	Qui 21/07/16
EST TÉRREO - B	25 d	0%	0%	Seg 15/08/16
EST 1º PAVIMENTO - B	15 d	0%	0%	Qui 22/09/16
EST 2º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Seg 17/10/16
EST 3º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Ter 01/11/16
EST 4º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Qui 17/11/16
EST 5º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Sex 02/12/16
EST 6º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Seg 19/12/16
EST 7º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Ter 03/01/17
EST 8º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Qui 19/01/17
EST 9º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Sex 03/02/17
EST 10º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Seg 20/02/17
EST 11º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Ter 07/03/17
EST 12º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Qui 23/03/17
EST 13º PAVIMENTO - B	10 d	0%	0%	Sex 07/04/17
EST 14º PAVIMENTO ar cond / barril	10 d	0%	0%	Seg 24/04/17
EST 15º PAVIMENTO cobertura - B	10 d	0%	0%	Ter 09/05/17

Para diminuir esse ciclo, primeiro foi feito um desenho do processo (figura 47), para que fosse mapeado o uso da mão de obra e ser proposta uma maneira para que seja usada da forma mais racional possível, evitando desperdícios.

Figura 47. Ciclo típico da estrutura para o subsolo da torre B – planejamento convencional

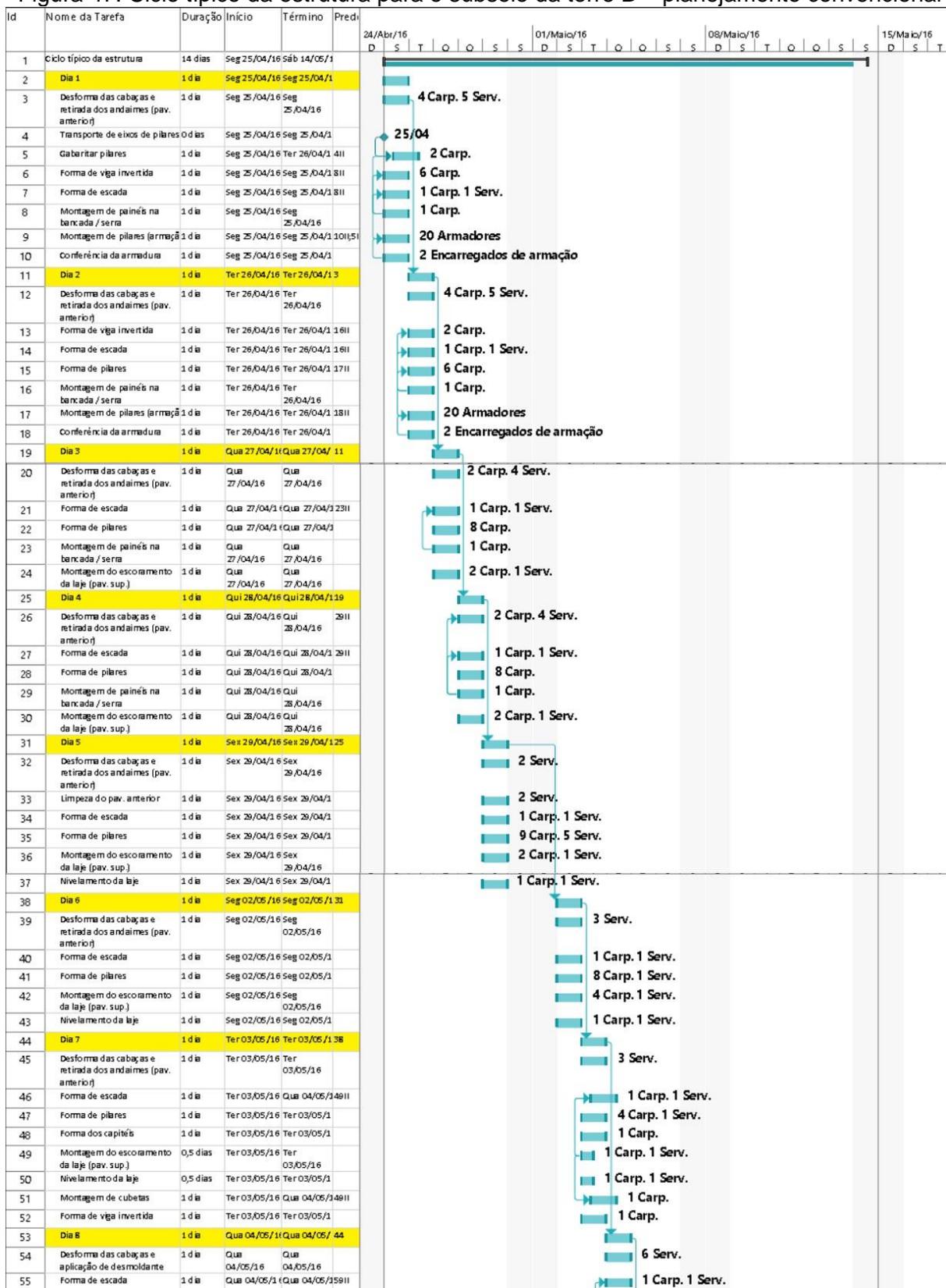
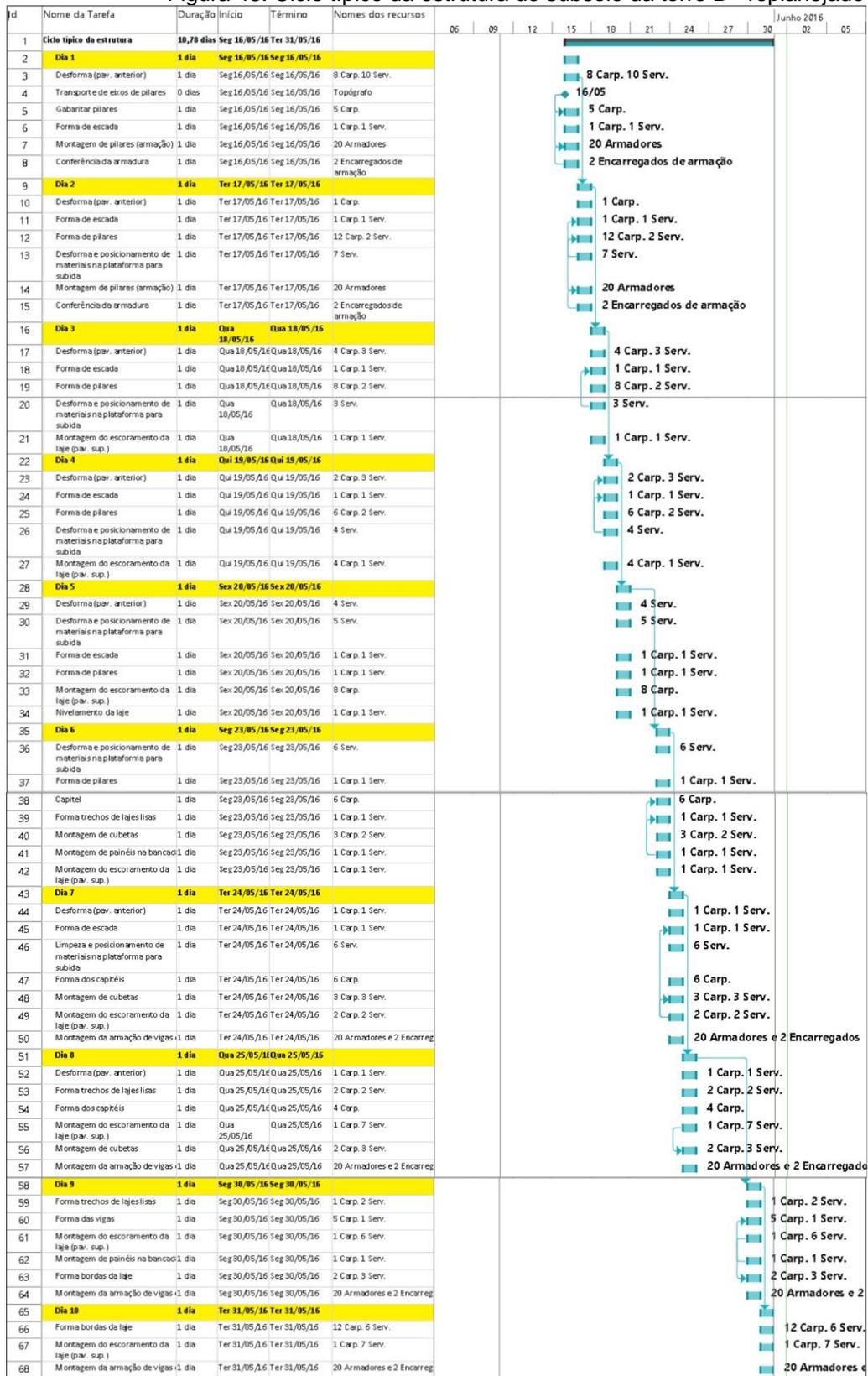


Figura 48. Ciclo típico da estrutura do subsolo da torre B - replanejado



A equipe empregada nos dois planejamentos é a mesma. Para análise deste princípio, foi considerado para efeito de comparação, apenas o prazo para execução da torre B (figura 49), porém a mesma análise cabe para as demais torres.

Figura 49. Cronograma replanejado da estrutura da torre B

ESTRUTURA - B	228 d	18%	25%	Seg 14/03/16
EST 7º SUBSOLO - B	25 d	100%	95%	Seg 14/03/16
EST 6º SUBSOLO - B	25 d	100%	100%	Seg 14/03/16
EST 5º SUBSOLO - B	10 d	32%	100%	Qui 21/04/16
EST 4º SUBSOLO - B	10 d	0%	23%	Qui 19/05/16
EST 3º SUBSOLO - B	10 d	0%	0%	Seg 06/06/16
EST 2º SUBSOLO - B	10 d	0%	0%	Ter 21/06/16
EST 1º SUBSOLO - B	10 d	0%	0%	Qua 06/07/16
EST TÉRREO - B	25 d	0%	0%	Qui 21/07/16
EST 1º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Ter 30/08/16
EST 2º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Seg 12/09/16
EST 3º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Sex 23/09/16
EST 4º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Qui 06/10/16
EST 5º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Qua 19/10/16
EST 6º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Ter 01/11/16
EST 7º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Seg 14/11/16
EST 8º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Sex 25/11/16
EST 9º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Qui 08/12/16
EST 10º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Qua 21/12/16
EST 11º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Ter 03/01/17
EST 12º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Seg 16/01/17
EST 13º PAVIMENTO - B	8 d	0%	0%	Sex 27/01/17
EST 14º PAVIMENTO ar cond / barril	8 d	0%	0%	Qui 09/02/17
EST 15º PAVIMENTO cobertura - B	8 d	0%	0%	Qua 22/02/17

Para os pavimentos do 1º ao 15º pavimento, considerando a mesma produtividade obtida na execução dos subsolos, obtém-se um prazo de 8 dias por conta das suas áreas serem menores.

Um exemplo de parcela que não acrescenta valor que foi reduzida nos dois planejamentos foi na organização das fôrmas metálicas dos pilares, as quais passaram a ser numeradas para facilitar sua identificação, enquanto antes gastava-se muito tempo para identificar cada uma. O mesmo foi feito com as fôrmas dos capitéis.

Também foram eliminadas as inúmeras checagens do nível da laje, sendo feita apenas uma checagem final, após a montagem de todo o escoramento.

A repetição do ciclo da execução da estrutura tende a reduzir ainda mais o prazo, em virtude da experiência que a equipe vai ganhando ao longo de cada pavimento executado.

Os gráficos das figuras 50 e 51 mostram um comparativo da relação de horas trabalhadas por tarefas do planejamento convencional para o replanejado

Figura 50. Gráfico comparativo de horas trabalhadas por tarefa nos dois planejamentos para carpinteiros

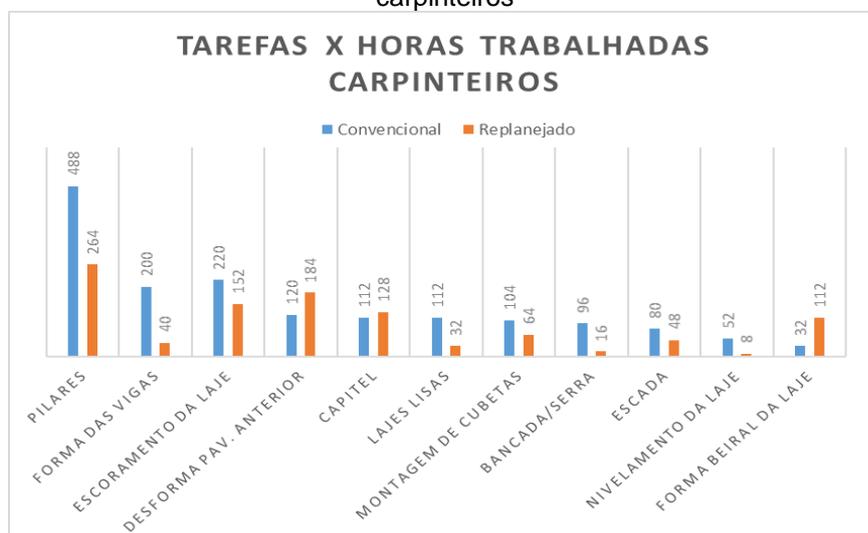
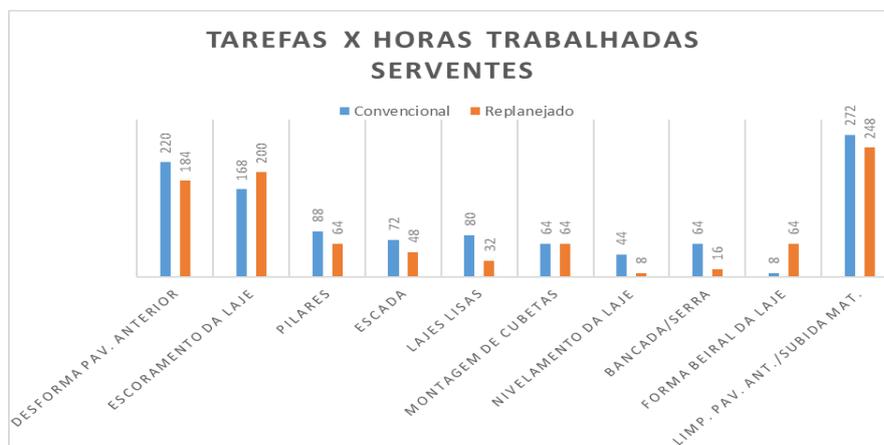


Figura 51. Gráfico comparativo de horas trabalhadas por tarefa nos dois planejamentos para serventes



As tarefas subsequentes à execução da estrutura de instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, telefônicas, incêndio, águas pluviais e alvenaria são tarefas com processo executivo mais simples e seus prazos estão limitados apenas pelo ciclo da estrutura. Logo, com a redução do ciclo da estrutura, reduz-se o ciclo de cada uma dessas tarefas, acumulando-se um uma redução de prazo notável no empreendimento.

7.9.1.5 Simplificar através do número de passos

O exemplo a ser dado nesse princípio é novamente o do aço, pelo fato de já ser comprado cortado e dobrado a fim de eliminar essa tarefa no canteiro. Também a numeração das fôrmas dos pilares e capitéis, a fim de facilitar sua identificação no momento do uso e o excesso de verificações de nível da laje.

7.9.1.6 Aumentar a transparência no processo

A empresa utiliza um quadro na área social que mostra o planejamento semanal da obra, com foco nas atividades da estrutura e programação de utilização da grua. Por exemplo, se no mesmo dia é programado montar as cubetas da laje e descarregar um caminhão de aço, a equipe já se programa de forma a movimentar as cubetas que serão necessárias utilizando a grua, pois quando for descarregar o aço a grua não atenderá as equipes de montagem da laje.

7.9.1.7 Focar o controle no processo global

A empresa conta com uma equipe de 5 engenheiros e 1 arquiteto na obra, podendo assim trabalhar juntos para ter o controle do processo global de produção. Em suma, cada um tem sua responsabilidade específica dentro da obra. Para entender o processo como um todo, são feitas reuniões no início e no fim da semana, para que possam identificar e corrigir eventuais desvios que venham a interferir no prazo da obra. Também se discute os problemas encontrados em cada frente e busca-se a melhor solução, dando assim a todos uma melhor compreensão do que se passa em cada posto de trabalho e, conseqüentemente, uma melhor compreensão global do processo.

7.9.1.8 *Introduzir a melhoria contínua do processo*

Buscar a melhoria contínua é uma busca pela redução de desperdícios, melhor gestão, tanto de pessoas quanto de produtos, e a perfeição no trabalho executado. Para isso é necessária participação, tanto da administração, quanto dos envolvidos na produção.

A empresa, apesar de manter um controle de qualidade nos seus procedimentos, não tem certificação ou um livro com seus padrões de execução. Poderia-se buscar uma certificação, serem feitos treinamentos sobre a qualidade, com auditorias internas e com indicadores de produção e desempenho dos serviços julgados mais importantes.

7.9.1.9 *Fazer benchmarking*

Faz parte do processo de melhoria contínua da empresa a prática do *benchmarking*. Durante o estudo de caso, a equipe de engenharia foi até a obra do edifício Reserva 109 no Setor Noroeste, da Brasal Incorporações para colher informações. Viu-se uma obra que busca certificação e tem alto controle de qualidade, com equipe de limpeza em tempo integral no canteiro.

7.9.2 Identificando as ferramentas *Lean*

7.9.2.1 *Engenharia simultânea*

Ferramenta bastante utilizada na obra, onde a equipe é composta não só pelos trabalhadores de campo, mas também pelo administrativo da empresa e principalmente pela integração dos projetistas e executores do projeto.

As reuniões semanais da equipe de engenharia geralmente acabam por trazer informações e decisões para serem tomadas junto aos projetistas, para que estes conheçam e ajudem a sanar as dificuldades do processo.

No canteiro também são feitas reuniões com a equipe de engenharia e os encarregados e o mestre, bem como com os terceirizados, afim de levar as informações e coletar os problemas, resolvendo-os da melhor maneira possível.

7.9.2.2 Mapeamento do fluxo de valor

Esta ferramenta acaba por ser mal utilizada na empresa, pois existe o planejamento do fluxo de projeto, onde são previstos a entrada de cada serviço e seus respectivos insumos, no momento certo, segundo o princípio *just in time*, para que não haja perda de tempo.

O problema é que o fluxo de produção tem choques de tarefas interdependentes, existem atrasos por falta de manutenção em maquinário e diversos desperdícios existentes que não são devidamente identificados.

7.9.2.3 TPM – Total Productivity Maintenance

Apesar de contar com algum maquinário no canteiro de obras, como grua, escavadeira, mini-escavadeira bobcat, perfuratriz para tirante e outras mais comuns como furadeiras e serras, a empresa não conta com nenhum plano de manutenção, ficando vulnerável a equipes paradas e tarefas atrasadas quando os equipamentos apresentam problemas.

No período do estudo de caso, foram constatados alguns problemas a seguir detalhados. A perfuratriz para tirante esteve quebrada por 3 semanas, impedindo a continuação da execução dos furos dos tirantes no solo. Ressalta-se que neste caso o atraso não acontece apenas nessa tarefa isoladamente, mas também na escavação e na fundação da torre D, pois a escavação só é liberada após a execução da contenção e, por sua vez, a fundação da torre D só depois da escavação.

Figura 52. Perfuratriz para tirante



Na central de fôrmas também houve um dia sem frente de serviço por falta de material, em virtude de uma serra quebrada. Ter uma serra reserva é de praxe na empresa, porém nesse caso a falta de comunicação das equipes e a falta de controle do almoxarifado geraram mais um atraso.

Por fim, foi realizada uma concretagem de pilares com o auxílio da grua e um funil para concreto. A saída de concreto do funil travou durante a concretagem e foi preciso realizar um conserto às pressas para poder utilizar o concreto que ainda estava no caminhão. O conserto demorou a ser feito e o concreto foi lançado com 3h30m após ter saído da fábrica (a recomendação é que não se utilize após 2h30m).

Figura 53. Funil para concreto



Ao lançar o concreto dessa maneira correu-se o risco de não obter as exigências de projeto, o que resultaria em uma posterior demolição do pilar e retrabalho, além da perda do material. Foram realizados vários ensaios extras de resistência à compressão do concreto do pilar de amostras colhidas *in loco*. Ao menos os ensaios foram satisfatórios e o concreto atingiu a resistência esperada. Vale mencionar aqui que não só o risco da demolição foi um problema, mas também a perda de produtividade no dia, onde a equipe de concretagem ficou parada enquanto o equipamento era consertado.

7.9.2.4 Takt time

O *Takt time* é o ritmo adotado pela empresa, com o intuito de entregar a obra dentro do prazo, tendo executado todas as exigências dos clientes, colocadas em projeto.

Tendo em vista a análise da estrutura, observado no replanejamento, foi adotado para esta obra, um ciclo de 10 ou 8 dias trabalhados, para a execução da maioria das lajes tipo. Com isso, o prazo de execução de serviços subsequentes, tais como: marcação, contra piso, alvenaria, instalações, reboco, dentre outros, deve obedecer este mesmo ciclo, afim de não causar problemas, tais como: paralizações por falta de frente serviço ou a não continuidade pela distância entre os serviços.

7.9.2.5 Cinco S (5S)

Para cada um desses passos, a empresa tomou as seguintes medidas:

Seiri (Utilização): para a deposição dos resíduos e entulhos, são posicionadas caçambas, separando o que será descartado e o que pode ser reaproveitado;

Seiton (Organização): os materiais ficam alojados em locais apropriados e são identificados, sempre ao alcance da grua e paletizados. O canteiro tem croqui definido pelo arquiteto e pela engenharia para organizar a logística.

Seisou (Limpeza): após fazer o *benchmarking*, a empresa contratou dois serventes para serem responsáveis somente pela limpeza do canteiro, o que gerou um ambiente mais limpo e arrumado para se trabalhar;

Seiketsu (Saúde/Normalização): para passar o conhecimento aos funcionários desses conceitos, os encarregados, almoxarife e engenheiros começaram dando o exemplo. Também utiliza-se um quadro com procedimentos indicados no canteiro, porém indica-se fazer reuniões com a equipe semanais com a equipe toda.

Shitsuke (Autodisciplina): para despertar a autodisciplina são necessárias reuniões e treinamentos onde se mostram as vantagens de um canteiro no qual todos façam sua parte para melhorar. Essa prática também não é feita na empresa.

7.9.2.6 Last Planner System

As três etapas do *Last Planner System* são vistas na empresa, da seguinte maneira:

- 1) *Master Plan*: há prazo e orçamento definidos para todo o escopo da obra; é sempre atualizado conforme mudanças de decisões são tomadas, havendo uma empresa terceirizada que presta consultorias na elaboração do plano;
- 2) *Look Ahead Planning*: planejamento de tempo médio. Um exemplo é o planejamento das tarefas de escavação e contenção para que terminem antes do início do período da chuva, época em que o rendimento da escavação é quase nulo.
- 3) *Weekly planning*: planejamento semanal. São definidas nas reuniões os planos para o que se espera executar na semana, conforme a fase da obra.

O índice PPC – Percentual de Planejamento Concluído - não é utilizado, porém seria essencial para avaliar a eficácia da obra e do seu planejamento.

8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

É possível verificar que no estudo de caso existem algumas preocupações e filosofias da *Lean Construction* desde o projeto, agregando valor ao produto para o cliente e reduzindo a variabilidade, por exemplo. Porém, as aplicações observadas são aplicações isoladas, o que leva a resultados limitados.

Analisando os resultados apresentados no cronograma, já reformulado, é difícil atribuir um ganho no prazo para cada conceito e ferramenta utilizada pelo *Lean Construction*. No entanto, observa-se ganhos significativos no prazo da estrutura.

A proposta de redução do ciclo da estrutura das torres detalhada no item 7.9.1.4 demonstra que, a princípio, essa tarefa teria um prazo de 278 dias para sua realização. No momento do replanejamento, este prazo foi reduzido para 228 dias, obtendo um ganho de 50 dias. Aplicando esse planejamento na estrutura das quatro torres, acumula-se um ganho total de 200 dias.

Acredita-se que este ganho seja principalmente por conta da preocupação e organização tida com a execução da tarefa, uma vez que foi feito o desenho do processo (figura 48), afim de manter o fluxo de produção, manter o ciclo, *Takt time*, sem furos e melhorar a organização da célula de produção.

9 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo expor as filosofias e metodologias que se enquadram no conceito da *Lean Construction* e aplicar esse conhecimento num caso prático. Ficou demonstrada a capacidade desse método em incrementar a eficiência dos processos produtivos por meio da redução de prazos e, conseqüentemente, custos e recursos, aumentando lucro e produtividade. Mas sua aplicabilidade vai muito além disso, como com o aumento do controle, o engajamento na busca por melhoria contínua, ordenação e limpeza no canteiro, melhoria da qualidade, dentre outros.

Percebe-se que muitos fatores poderiam ser melhorados se as filosofias *lean* fossem integralmente adotadas. O uso de um software online integrado para o gerenciamento do estoque por exemplo reduziria eventuais falta de materiais que possam ocorrer. A empresa já utiliza um sistema integrado com software para cadastrar as compras, portanto bastaria ser feita uma adaptação para ter mais essa funcionalidade.

O planejamento do canteiro de obras previu uma ótima localização da grua, juntamente com um bom sistema de carga e descarga de materiais e fácil movimentação de materiais dentro do canteiro com o uso da plataforma, por exemplo. Porém, ter banheiro e bebedouro a uma distância tão longe implica num movimento desnecessário do trabalhador, que leva de 10 a 15 minutos a cada vez que precisa ir tomar água ou ir ao banheiro, fora o desgaste de subir do nível 6º SS até o térreo.

No estudo de caso só foi possível fazer a análise de replanejamento para a estrutura em virtude da fase atual da obra, porém, para potencializar as melhorias, o mesmo conceito deve ser aplicado de forma mais abrangente, para todas as etapas subsequentes possíveis, fazendo o uso do mapeamento de fluxo de valor para identificação de desperdícios e direcionamento de ações para a colocação em prática dos princípios *lean* com a aplicação de ferramentas específicas onde necessário.

O uso de componentes visuais aumenta a transparência do processo e a adoção de um quadro com a programação da estrutura e a programação de utilização da grua evitou problemas de movimentação de materiais.

A melhoria contínua é algo que deveria ser buscado na empresa. Apesar de prezar pela qualidade, não são seguidos procedimentos padrões de certificação. Também não são feitos treinamentos com a equipe, sequer com os funcionários novatos, deixando o nível técnico da equipe aquém do desejado em algumas situações.

O *benchmarking* ajuda a equipe a enxergar novas realidades além da sua própria, dando a possibilidade de enxergar em outras empresas o que elas têm de melhor e que pode ser aplicado na própria empresa. No presente caso, o *benchmarking* resultou na contratação de dois serventes para trabalharem em tempo integral na limpeza.

Algo que necessita ser bem gerenciado é a ferramenta *Total Productivity Maintenance*, para que não haja interrupções por problemas no maquinário. No estudo de caso houve uma perfuratriz que atrasou o andamento da obra por conta de problemas. Cada dia parado da perfuratriz significou um dia atrasado das tarefas subsequentes.

O Cinco S é utilizado parcialmente na obra. Para melhor aproveitar essa ferramenta, deveriam ser feitos treinamentos e também reuniões semanais com toda a equipe.

O *Last Planner System* é visto na empresa, porém o fato do índice Percentual de Planejamento Concluído dificulta a identificação dos desperdícios existentes nas tarefas e seu uso certamente aumentaria o rendimento da produção.

Quanto ao valor, na visão do cliente, há uma boa observância desse princípio, visto que o projeto reúne valores raros de encontrar num mesmo empreendimento. O fato de estar no centro de Brasília e mesmo assim não ter problemas com vagas em virtude das vagas de seus, de não ter vigas e pilares nos pavimentos tipo, de ter lojas comerciais no térreo, de ter um centro de convenções e um auditório, de ter um design inovador, uma fachada com pele de vidro, possibilitam a instalação de organizações de grande porte, a realização de grandes eventos e até de shows.

A redução das atividades que não acrescentam valor é de grande importância na racionalização de um canteiro e é um dos princípios bem observados no estudo de caso. Percebe-se que reduzir a variabilidade também contribui muito, pois a gama de técnicas construtivas e materiais utilizados é bem menor, padronizando mais as tarefas.

Pode-se concluir que aplicando os princípios da *Lean Construction* é possível alcançar uma melhoria significativa nos processos de gestão e produção das empresas, possibilitando o ciclo de melhoria contínua e o objetivo de excelência que todas empresas devem almejar. No estudo de caso existem algumas aplicações e a partir delas é possível enxergar melhorias, porém uma aplicação global traria benefícios maiores.

Como sugestão de futuras pesquisas para complementar o presente trabalho indica-se:

- 1) Acompanhamentos dos resultados obtidos pelo uso da *Lean Construction* na obra do estudo de caso;
- 2) Continuação do estudo *lean* no estudo de caso com mapeamento de fluxo de valor das tarefas futuras, como nas instalações de infraestrutura (elétricas, hidráulicas, telefônicas e incêndio), alvenarias e assentamento de piso.

10 BIBLIOGRAFIA

ARANTES, Paula. Lean Construction – Filosofias e Metodologias. 2008. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Ballard, Glenn (2000). *The Last Planner System of Production Control*. School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, The University of Birmingham. Birmingham, Inglaterra.

FERRAZ, J.L., NASCIMENTO, Kilson, ROMANO, Willy, SOUZA, Denilson, NETO, Jose, e HEINECK, Luiz. Um modelo para o planejamento e controle de obras – a transição de um processo de racionalização tecnológica e administrativa para um ambiente de produção enxuta. 2005. Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. Porto Alegre.

Fontanini, P., Pichhi, F.A. (2003). Mentalidade Enxuta na Cadeia de Fornecedores da Construção Civil - Aplicação de Macro-mapeamento. III Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 16-19 de Setembro de 2003, UFSCar, São Carlos, Brasil.

FORMOSO, Carlos T. Lean Construction: Princípios básicos e exemplos. 2000. NORIE/UFRGS. Porto Alegre.

KOSKELA, Lauri. *Application of the New Production Philosophy to Construction*. 1992. Helsinki, Technical Research Centre of Finland.

KOSKELA, Lauri. *An exploration towards a production theory and its application to construction*. 2000. Helsinki, Technical Research Centre of Finland.

Kurek,J. (2005). Introdução dos princípios da filosofia de Construção Enxuta no processo de produção em uma construtora em Passo Fundo-RS. Dissertação de Mestrado, faculdade de Engenharia e Arquitectura da Universidade de Passo Fundo.

LOMBARDI, Raphael. Planejamento e controle de obras utilizando os conceito de Lean Construction – Estudo de caso Hotel das Nações. 2014. Dissertação (Graduação). Centro Universitário de Brasília. Brasília.

OHNO, Taiichi (1997). O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. Porto Alegre.

PICCHI, F.A. Oportunidades de Aplicação do Lean Thinking na Construção. Ambiente Construído, Março 2003, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre.

PICCHI, F.A. e GRANJA, Ariovaldo. Aplicação do Lean Thinking ao Fluxo de Obra, Julho 2004, Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. São Paulo.

PINTO, Jorge. Proposta de Metodologia de Avaliação de Projetos de Construção. 2012. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

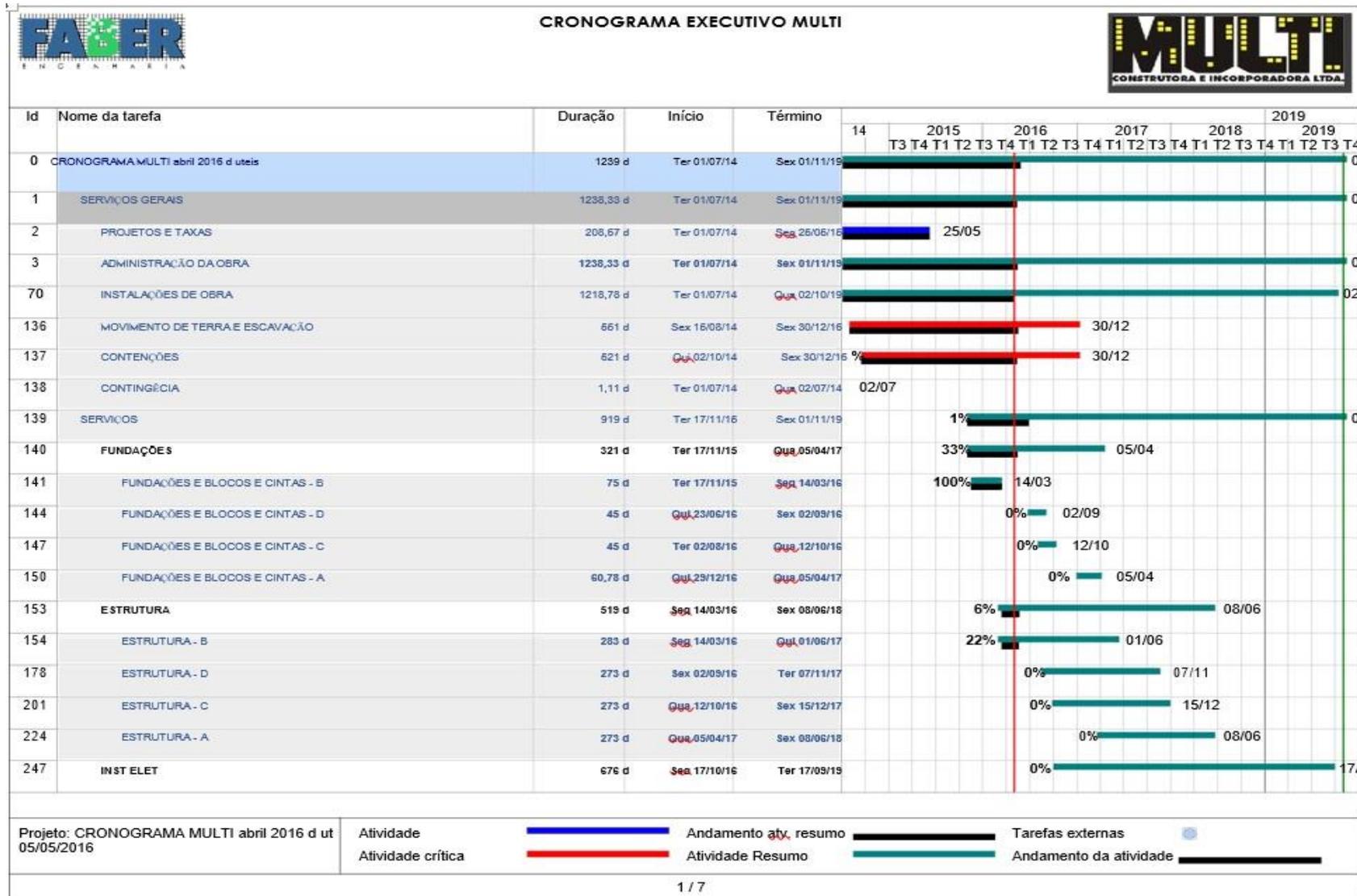
ROSENBLUM, A., AZEVEDO, V.S., JUNIOR, C.A.B., e TAVARES, M.E.N. Avaliação da Mentalidade Enxuta (Lean Thinking) na construção civil – Uma visão estratégica de implantação. 2007. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

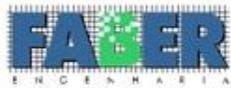
SOUZA, Ubiraci e FRANCO, Luiz. Definição do layout do canteiro de obras. 1997. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo.

WOMACK, J.P. e JONES, D.T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. 1996. Nova Iorque, EUA.

WOMACK, J.P., JONES, D.T. e Roos, D. (1990). The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production. Rawson Associates, Nova Iorque, EUA.

ANEXOS





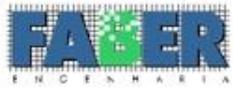
CRONOGRAMA EXECUTIVO MULTI



Id	Nome da tarefa	Duração	Início	Término	2019																							
					14	2015				2016				2017				2018				2019						
					T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4		
840	INSTALAÇÕES INCÊNDIO - B	402,2 d	Dom 21/08/16	Ter 15/05/18																							0%	15/05
868	INSTALAÇÕES INCÊNDIO - D	310 d	Qui 23/03/17	Ter 24/07/18																							0%	24/07
896	INSTALAÇÕES INCÊNDIO - C	310 d	Ter 02/05/17	Sex 31/08/18																							0%	31/08
924	INSTALAÇÕES INCÊNDIO - A	310 d	Ter 24/10/17	Sex 22/02/19																							0%	22/02
952	INST AP	456 d	Seg 17/10/16	Qui 04/10/18																							1%	04/10
953	INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS - B	220 d	Seg 17/10/16	Qui 28/09/17																							3%	28/09
976	INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS - D	220 d	Qui 23/03/17	Seg 05/03/18																							0%	05/03
999	INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS - C	220 d	Ter 02/05/17	Qui 12/04/18																							0%	12/04
1022	INSTALAÇÕES DE ÁGUAS PLUVIAIS - A	220 d	Ter 24/10/17	Qui 04/10/18																							0%	04/10
1045	ELEVADORES	356 d	Qui 05/04/18	Qui 17/10/19																							0%	17
1046	ELEVADORES - B	180 d	Qui 05/04/18	Seg 14/01/19																							0%	14/01
1048	ELEVADORES - D	180 d	Seg 10/05/18	Qui 20/06/19																							0%	20/06
1050	ELEVADORES - C	180 d	Qui 18/10/18	Ter 30/07/19																							0%	30/07
1052	ELEVADORES - A	180 d	Ter 08/01/19	Qui 17/10/19																							0%	17
1054	PAREDES	481 d	Sex 29/07/16	Seg 27/08/18																							0%	27/08
1055	PAREDES E PAINIS - B	245 d	Sex 29/07/16	Sex 18/08/17																							0%	18/08
1078	PAREDES E PAINIS - D	245 d	Ter 03/01/17	Qui 24/01/18																							0%	24/01
1101	PAREDES E PAINIS - C	245 d	Seg 13/02/17	Seg 05/03/18																							0%	05/03
1124	PAREDES E PAINIS - A	245 d	Sex 04/08/17	Seg 27/08/18																							0%	27/08
1147	ESQ MADEIRA	446 d	Ter 11/07/17	Qui 13/06/19																							0%	13/06

Projeto: CRONOGRAMA MULTI abril 2016 d ut 05/05/2016

Atividade Andamento aty. resumo Tarefas externas
 Atividade crítica Atividade Resumo Andamento da atividade



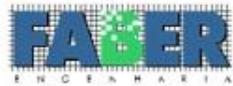
CRONOGRAMA EXECUTIVO MULTI



Id	Nome da tarefa	Duração	Início	Término	14																	
					2015				2016				2017				2018				2019	
					T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
1740	RODAPÉS / SOLEIRA - B	220 d	Qui.25/05/17	Seg. 07/05/18														0%				07/05
1763	RODAPÉS / SOLEIRA - D	220 d	Seg. 30/10/17	Qui. 11/10/18														0%				11/10
1786	RODAPÉS / SOLEIRA - C	220 d	Qui.07/12/17	Ter. 20/11/18														0%				20/11
1809	RODAPÉS / SOLEIRA - A	220 d	Qui.31/05/18	Ter. 14/05/19														0%				14/05
1832	VIDROS	476 d	Seg. 28/08/17	Ter. 17/09/19														0%				17/09
1833	VIDROS - B	240 d	Seg. 28/08/17	Seg. 10/09/18														0%				10/09
1838	VIDROS - D	240 d	Qui.01/02/18	Qui. 14/02/19														0%				14/02
1843	VIDROS - C	240 d	Ter. 13/03/18	Ter. 26/03/19														0%				26/03
1848	VIDROS - A	240 d	Ter. 04/03/18	Ter. 17/09/19														0%				17/09
1853	IMPERMEAB	579 d	Seg. 14/03/16	Ter. 11/09/18														4%				11/09
1854	IMPERMEABILIZAÇÃO E TRATAMENTOS - B	343 d	Seg. 14/03/16	Ter. 05/09/17														15%				05/09
1863	IMPERMEABILIZAÇÃO E TRATAMENTOS - D	333 d	Sex. 02/09/16	Qui. 08/02/18														0%				08/02
1872	IMPERMEABILIZAÇÃO E TRATAMENTOS - C	333 d	Qui. 12/10/16	Ter. 20/03/18														0%				20/03
1881	IMPERMEABILIZAÇÃO E TRATAMENTOS - A	333 d	Qui. 05/04/17	Ter. 11/09/18														0%				11/09
1890	PINTURA	536 d	Seg. 26/06/17	Qui. 17/10/19														0%				17/10
1891	PINTURA - B	360 d	Seg. 26/06/17	Seg. 14/01/19														0%				14/01
1938	PINTURA - D	360 d	Qui. 30/11/17	Qui. 20/06/19														0%				20/06
1985	PINTURA - C	360 d	Ter. 03/01/18	Ter. 30/07/19														0%				30/07
2032	PINTURA - A	300 d	Ter. 03/07/18	Qui. 17/10/19														0%				17/10
2079	LOUÇAS	386 d	Ter. 14/11/17	Ter. 16/07/19														0%				16/07

Projeto: CRONOGRAMA MULTI abril 2016 d ut 05/05/2016

Atividade Andamento atv. resumo Tarefas externas
 Atividade crítica Atividade Resumo Andamento da atividade



CRONOGRAMA EXECUTIVO MULTI



Id	Nome da tarefa	Duração	Início	Término	2019																						
					14	2015				2016				2017				2018				2019					
					T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	
2080	LOUÇAS E METAIS - B	150 d	Ter 14/11/17	Seg 09/07/18															0%								09/07
2096	LOUÇAS E METAIS - D	150 d	Sex 20/04/18	Qui 13/12/18																							13/12
2112	LOUÇAS E METAIS - C	150 d	Qua 30/05/18	Ter 22/01/19																							22/01
2128	LOUÇAS E METAIS - A	150 d	Qua 21/11/18	Ter 16/07/19																							16/07
2144	FORROS	456 d	Sex 03/02/17	Qua 23/01/19																							23/01
2145	FORROS - B	220 d	Sex 03/02/17	Ter 16/01/18																							16/01
2168	FORROS - D	220 d	Ter 11/07/17	Sex 22/06/18																							22/06
2191	FORROS - C	220 d	Seg 21/08/17	Qua 01/08/18																							01/08
2214	FORROS - A	220 d	Sex 09/02/18	Qua 23/01/19																							23/01
2237	BANCAS	386 d	Sex 13/10/17	Qui 13/06/19																							13/06
2238	BANCAS - B	150 d	Sex 13/10/17	Qui 07/06/18																							07/06
2254	BANCAS - D	150 d	Ter 20/03/18	Seg 12/11/18																							12/11
2270	BANCAS - C	150 d	Seg 30/04/18	Qui 20/12/18																							20/12
2286	BANCAS - A	150 d	Sex 19/10/18	Qui 13/06/19																							13/06
2302	LIMPEZA	205 d	Sex 07/12/18	Sex 01/11/19																							0
2303	LIMPEZA - B	60 d	Sex 07/12/18	Qua 13/03/19																							13/03
2305	LIMPEZA - D	60 d	Qua 15/05/19	Sex 16/08/19																							16/08
2307	LIMPEZA - C	60 d	Seg 24/06/19	Qua 25/09/19																							25/09
2309	LIMPEZA - A	60 d	Qua 31/07/19	Sex 01/11/19																							0
2311	URBANIZAÇÃO / GALERIA TERREO	210 d	Qui 05/12/18	Sex 01/11/19																							0

Projeto: CRONOGRAMA MULTI abril 2016 d ut 05/05/2016

Atividade

Atividade crítica



Andamento atv. resumo

Atividade Resumo



Tarefas externas

Andamento da atividade

