

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL - GUARAPUAVA
ENGENHARIA CIVIL**

ALEXANDRE TOMAZONI

**CONSTRUÇÃO ENXUTA APLICADA AO SISTEMA CONSTRUTIVO
DE LAJES PROTENDIDAS: ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2021

ALEXANDRE TOMAZONI

**CONSTRUÇÃO ENXUTA APLICADA AO SISTEMA CONSTRUTIVO
DE LAJES PROTENDIDAS: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro

GUARAPUAVA

2021

ATA DA DEFESA

Realizou-se no dia **19** de **maio** de 2021, às **17 h 00 min**, no Campus Guarapuava da UTFPR, a defesa Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial para aprovação do aluno **Alexandre Tomazoni**, na disciplina de TCC2 do Curso de Engenharia Civil intitulado: **CONSTRUÇÃO ENXUTA APLICADA AO SISTEMA CONSTRUTIVO DE LAJES PROTENDIDAS: ESTUDO DE CASO.**

A Banca foi composta pelo Presidente:

Rodrigo Scoczynski Ribeiro (Orientador), e pelos seguintes membros:

Dyorgge Alves Silva

Gustavo De Miranda Saleme Gidrao

Guarapuava, 19 de maio de 2021

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Laje com Armação Treliçada	23
Figura 2 - Armação Treliçada	23
Figura 3 - Cordoalhas de Aço.....	26
Figura 4 - Seção da Monocordoalha Engraxada com 7 Fios.....	28
Figura 5 - Detalhe da Montagem da Ancoragem Ativa na Forma	30
Figura 6 - Macaco Hidráulico Realizando a Protensão na Cordoalha	30
Figura 7 - Classificação da pesquisa Fellows e Liu (2015)	34
Figura 8 - Estrutura Organizacional da Empresa	35
Figura 9 – Projeto arquitetônico, vista da fachada	36
Figura 10 - Obra atualmente	37
Figura 11 - Canteiro de obras.....	39
Figura 12 - Estrutura de um pavimento da edificação	41
Figura 13 - Armazenamento de material no canteiro de obras (Pavimento Térreo)..	42
Figura 14 - Armazenamento de material no canteiro de obras.....	42
Figura 15 - EPIs utilizados pelos colaboradores	44
Figura 16 - Escoramento da laje completo	45
Figura 17 - Escoramento da laje completo	45
Figura 18 - Escoramento da laje reduzido.....	46
Figura 19 - Cordoalhas dispostas na laje	46
Figura 20 - Monocordoalhas de aço engraxadas	47
Figura 21 - Grua na obra	48
Figura 22 - Estrutura de um pavimento	49
Figura 23 - Canteiro de obras.....	50
Figura 24 - Sinalização para escada e EPI	51
Figura 25 - Sinalização choque elétrico	52
Figura 26 - Sinalização de segurança da entrada	52
Figura 27 – Laje protendida sendo concretada	56

LISTA DE QUADROS

Quadros 1- Diferenças entre a Indústria de Manufatura e Construção	15
Quadros 2 - Características dos tipos de lajes	32
Quadros 3- Ciclo de Atividades para Execução de um Pavimento	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espessuras de Lajes Lisas Protendidas com Cordoalha Engraxada	31
--	----

Dedico este trabalho à minha família, principalmente meus pais por todo suporte neste passo tão importante para minha carreira profissional.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus pelo dom da vida e por me abençoar em todos os momentos.

Agradecer especialmente à minha família por não medir esforços e me dar todo o suporte e as condições para que eu pudesse focar no meu sonho.

Ao meu professor orientador Rodrigo Scoczynski Ribeiro por todo o auxílio, correções e por acreditar em mim, o que foi fundamental para realização deste trabalho.

Agradecer ao meu amigo, engenheiro Arthur Sander por me ajudar em todos os momentos em que eu precisei para concluir este trabalho. Agradecer especialmente ao engenheiro Jocemar Brandão pela disponibilidade da obra e por toda a atenção necessária.

Aos meus amigos que fizeram parte de toda a minha caminhada na graduação, os quais levarei com muito carinho para vida toda, em especial à minha parceira Milena Alves Ferreira que me deu muita força e muito apoio em todo o meu trabalho.

Por fim, agradeço a todos que participaram ou me ajudaram de alguma forma para a construção desse trabalho.

Há momentos na vida, nos quais as alternativas serão pular ou recuar. Quem pula tem a chance de voar em direção a um lugar muito além do desejado. Quem recua, muitas vezes por insegurança ou indecisão, pode passar a carregar consigo o peso da chance perdida.

(SILVA, Flávio, 2018)

RESUMO

TOMAZONI, Alexandre. **Construção enxuta aplicada ao sistema construtivo de lajes protendidas: estudo de caso**. 2021. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2021.

O estudo da Construção Enxuta e de novos métodos construtivos com mais tecnologia, como, por exemplo, a Laje Protendida, possibilita avanços na racionalização construtiva, principalmente pela redução dos desperdícios e maior eficiência das obras na construção civil. Nesse sentido, este trabalho propõe uma análise da maturidade do processo de execução de Lajes Protendidas utilizando como referência os princípios da Construção Enxuta. A pesquisa foi realizada por meio de um estudo de caso na obra de uma construtora e incorporadora, na cidade de Francisco Beltrão-PR. Inicialmente foram apresentados os princípios da construção enxuta, seguido de uma pesquisa qualitativa em obra, por meio de questionário aplicado ao responsável técnico pela gestão e execução da obra. Os principais pontos positivos levantados foram: o próprio sistema construtivo de lajes protendidas; processos adotados pela empresa que se mostram eficazes; negociação direta com fornecedores parceiros; a arquitetura pensada para atender às demandas do cliente. Com estes resultados obtidos foi avaliada a maturidade da empresa e do sistema construtivo levando a um cronograma de execução possível à realidade da região, neste conseguiu-se reduzir o tempo de ciclo da execução da estrutura utilizando o mesmo método de lajes protendidas. Tal aceleração se deve, sobretudo, ao segundo jogo de: escoras metálicas, caixaria e travamento dos elementos.

Palavras-chave: Construção Enxuta. Laje Protendida. Racionalização Construtiva.

ABSTRACT

TOMAZONI, Alexandre. **Lean construction aplicated at the constructive system of prestressed slabs: case study**. 2021. 68 p. Work of Conclusion Course in Civil Engineering - Federal University of Technology - Paraná. Guarapuava, 2021.

The lean construction and novel constructions methods with more technology study as the prestressed slabs, show an advanced rational on construction, mostly by the waste reduction and more effectivity on civil construction. In that regard, that article proposes a review of the prestressed slabs execution maturity process, using by reference the principles of lean construction. The research was made by a study case in a construction and a real state developer construction fulfilled in Francisco Beltrão city on Paraná state, Brazil. Initially was stated the principles of lean construction followed by a qualitative research on construction, through a questioner aplicated for the execution and management in charge of the construction. The main positives points was: the construction of prestressed slabs system; the processes adopted by the company stay effective; direct negotiation with providers partners; the architecture made for supply the client needs. With these results was rated the construction system and company maturity, leading up to schedule of possible execution at each region, with that we reduce the cycle time of the structure execution using the same prestressed slabs method. That acceleration must principally by the second set of metallic struts, frames and locking elements.

Keywords: Lean Construction. Prestressed Slab. Rational on Construction.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVOS GERAIS	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 CONSTRUÇÃO ENXUTA (LEAN CONSTRUCTION)	14
3.1 ESTRUTURAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO LEAN CONSTRUCTION	16
3.2 BIM E LEAN	18
3.3 JUST-IN-TIME (JIT)	19
3.4 O PROGRAMA 5S	21
4 LAJES	22
4.1 LAJES NERVURADAS PRÉ MOLDADAS TRELIÇADAS	22
4.2 LAJE MACIÇA DE CONCRETO	24
4.3 LAJE PROTENDIDA	25
4.3.1 Processos Executivos de Lajes Protendidas	28
4.3.2 Equipamentos Para Protensão	29
4.3.3 Controle de Qualidade Utilizado na Laje para o Concreto	31
4.4 CARACTERÍSTICAS DA LAJE TRELIÇADA PRÉ-MOLDADA, LAJE MACIÇA E LAJE PROTENDIDA	32
5 METODOLOGIA DA PESQUISA	33
5.1 DEFINIÇÕES DA POPULAÇÃO ALVO	33
5.2 TÉCNICAS DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	33
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
6.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA EMPRESA	35
6.1.1 Estrutura Organizacional	35
6.1.2 Descrição da Obra em Estudo	35
6.2 APRESENTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA	37
6.2.1 Reduzir a Participação de Atividades que não Agregam Valor	38
6.2.2 Aumentar o Valor do Produto Através da Consideração das Necessidades do Cliente	40
6.2.3 Reduzir a Variabilidade	41
6.2.4 Reduzir o Tempo de Ciclo	43
6.2.5 Simplificar, Minimizando o Número de Etapas, Peças e Ligações	47
6.2.6 Aumentar a Flexibilidade de Produção	49
6.2.7 Aumentar a Transparência do Processo	50
6.2.8 Concentrar o Controle no Processo Completo	53
6.2.9 Construir Melhoria Contínua no Processo	53
6.2.10 Equilibrar a Melhoria do Fluxo com a Melhoria da Conversão	54
6.2.11 Referenciais (Benchmarking)	54

6.3 PROPOSTA DE LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA DIAGNÓSTICO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA.....	56
6.3.1 O Desenvolvimento da Lista de Verificação para Diagnóstico dos Princípios da Construção Enxuta.....	58
6.4 PONTUAÇÃO E ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA LAJE PROTENDIDA COM BASE NOS 11 PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA.....	61
7 CONCLUSÃO	63
8 REFERÊNCIAS.....	64
ANEXO A – LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA DIAGNÓSTICO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA.....	67

1 INTRODUÇÃO

A construção civil nos últimos anos vem passando por uma série de mudanças, tanto em técnicas construtivas como também em redução e simplificação de processos, com intuito de tornar sua produtividade mais eficiente. A produção em larga escala existente na construção civil, assim como na indústria automobilística, implica que sejam adotados princípios científicos para a gestão dos processos envolvidos (PERETTI; FARIA; DOS SANTOS, 2013).

Com o desenvolvimento da manufatura enxuta, que é uma estratégia de gestão de produção, tendo como objetivo principal o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade por meio da eliminação sistemática e sustentável dos desperdícios na cadeia produtiva, os quais são definidos como atividades que não agregam valor ao produto (QUEIROZ, 2015). A manufatura enxuta também é conhecida como Sistema Toyota de Produção e semelhante à manufatura enxuta, a construção civil também buscou melhorias e mais qualidade aos seus empreendimentos com o início da construção enxuta.

Este desenvolvimento do conceito de gestão da produção aplicados às práticas da construção civil, é uma adaptação do modelo de manufatura enxuta. Koskela (1992) apresentou uma nova filosofia de produção à construção civil, chamada de Construção Enxuta (*Lean Construction*). Esta filosofia pode ser entendida como integração entre o produto e o planejamento dos resultados, por meio da integração de todos os envolvidos (PERETTI; FARIA; DOS SANTOS, 2013). O *Lean Construction* possui a seguinte diretriz: entregar o produto maximizando o valor e minimizando o desperdício (BALLARD; HOWELL, 2004).

Com a ideia da Construção Enxuta, busca-se sistemas construtivos mais eficientes e de maior qualidade para obras na construção civil. Com relação à parte estrutural, as Lajes em concreto protendido que vem sendo utilizadas com mais frequência na estrutura de edifícios, devido a necessidade de se vencer maiores vãos e aumentar a produtividade (EMERICK, 2002).

A execução de Lajes Protendidas apresenta algumas vantagens em relação ao sistema convencional em concreto armado, como, por exemplo, maior liberdade arquitetônica devido à possibilidade de vencer maiores vãos, maior área útil, menor quantidade de pilares, redução das espessuras das lajes diminuindo a altura total do

edifício e por consequência deixando a estrutura com um peso mais leve, minimizando as despesas nas fundações, maior velocidade na desforma e retirada de escoramento, aumentando a produtividade (EMERICK, 2002).

Nesse sentido, a racionalização construtiva torna-se um objetivo para as edificações, já que o seu conceito visa manter a base produtiva e buscar pela industrialização e muitas vezes acabam mudando a forma de produzir. A racionalização pode ser utilizada em qualquer processo ou sistema construtivo por meio da simplificação de operações e aumento da produtividade que resulte na diminuição de custos (VIVIAN; PALIARI; NOVAES, 2010).

Para Novaes (1996), a Racionalização construtiva é como um elemento indutor da otimização de técnica e métodos construtivos, como uma ferramenta da melhoria da construtibilidade dos projetos, pela sua capacidade de influenciar o processo de projeto. Então, racionalizar a produção, resumidamente, significa reduzir o tempo de trabalho com o objetivo de conseguir melhorar a produtividade (VIVIAN; PALIARI; NOVAES, 2010).

Nesse contexto, a laje protendida é um dos exemplos de racionalização construtiva, pois quando se têm ganho de tempo de construção, diminuição das formas em comparação com as soluções convencionais de vigas e lajes, vantagens econômicas e elegância do método construtivo, há o conceito de racionalização empregado. (SCHMID, 2009)

Ainda há muito a ser feito em inúmeros processos dentro da construção civil, para que possam reduzir os desperdícios e aumentar a produtividade. Uma ferramenta que Koskela (1992) apresentou, são os princípios do *Lean Construction*, que aplicados, tornam as obras mais eficientes.

Com o objetivo de aplicar os conceitos da Construção Enxuta ao sistema construtivo de Lajes Protendidas, o presente trabalho possui sua estrutura subdividida em uma breve introdução à conceitos da Construção Enxuta, seguido de uma revisão a respeito da definição, vantagens e desvantagens, processos executivos de Lajes Protendidas e, por fim, da metodologia utilizada e dos resultados obtidos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Analisar a maturidade da empresa e do método construtivo de Laje Protendida de acordo com os princípios da Construção Enxuta, em uma edificação no município de Francisco Beltrão-PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Identificar as características entre o Sistema de Lajes Protendidas e Lajes Convencionais em relação aos aspectos de produtividade, ganhos arquitetônicos e mão de obra;
- Desenvolver um modelo de diagnóstico baseado nos 11 fundamentos da Construção Enxuta para verificar a maturidade da empresa e do processo executivo de Lajes Protendidas na edificação estudada;
- Verificar se a metodologia da construção enxuta é empregada na execução de obras da empresa e no processo construtivo de lajes protendidas no Estudo do Caso;

3 CONSTRUÇÃO ENXUTA (*LEAN CONSTRUCTION*)

A Construção Enxuta teve seu início na percepção da reprodutibilidade dos conceitos desenvolvidos na indústria automobilística, para o ambiente da construção civil (PERETTI; FARIA; DOS SANTOS, 2013).

Howell (1999) define a Construção Enxuta como:

Um novo caminho para o gerenciamento na indústria da Construção Civil, com implicações nas relações comerciais e na concepção dos projetos, planejar e controlar técnicas que reduzam o desperdício, melhorando a confiabilidade dos fluxos produtivos.

Koskela (1992) desafia os profissionais de Construção Civil a quebrar seus paradigmas de gestão e adaptar as técnicas e ferramentas desenvolvidas com sucesso no Sistema Toyota de Produção.

A metodologia desenvolvida por Koskela (1992) busca foco nas atividades que agregam valor, nas atividades de conversão, essas devem ser mais eficientes, enquanto as atividades de fluxo, devem ser reduzidas ou eliminadas. Nessa perspectiva, o pesquisador elenca onze (11) princípios para o desenvolvimento e avaliação da construção enxuta.

- 1- Reduzir a participação de atividades que não agregam valor;
- 2- Aumentar o valor da produção por meio da consideração sistemática dos requisitos do cliente; (Agregue valor ao produto final sob a visão do que o cliente necessita);
- 3- Reduzir a variabilidade;
- 4- Reduzir o tempo de ciclo;
- 5- Simplificar, minimizando o número de etapas, peças e ligações;
- 6- Aumentar a flexibilidade de produção;
- 7- Aumentar a transparência do processo;
- 8- Concentrar o controle no processo completo;
- 9- Construir melhoria contínua no processo;
- 10- Equilibrar a melhoria do fluxo com a melhoria da conversão;
- 11- Referenciais (*Benchmarking*) (KOSKELA, 1992).

Esses princípios se aplicam tanto ao processo de fluxo total como para seus subprocessos, definindo também os problemas, como complexidade ou controle do segmento (KOSKELA, 1992). O sucesso dos princípios enxutos foi o que motivou a adoção deles na construção. O *Lean Construction* surgiu na indústria da construção e

alguns anos depois já tinha total aceitação nas indústrias de manufaturas ocidentais (SHANG GAO, SUI PHENG LOW, 2014).

A discussão inicial sobre as perspectivas da construção enxuta, surgiu com Koskela (1992) sobre o potencial que ele chamou de “A nova filosofia de produção”. Uma definição de *Lean Construction* dada por Koskela (2002, p.211): Construção enxuta é uma maneira de projetar sistemas de produção para minimizar desperdícios de materiais, tempo e esforço para gerar o máximo valor possível.

O *Lean Construction Institute* (LCI) define a construção enxuta como uma abordagem de produção baseada em gerenciamento para entrega do projeto que é particularmente útil em projetos complexos, incertos e rápidos. A definição de construção enxuta indica os mesmos objetivos da produção enxuta, ou seja, eliminar desperdícios e maximizar valor (SHANG GAO, SUI PHENG LOW, 2014).

Uma das premissas da construção enxuta é que o processo social que envolve a discussão com a equipe do local e o planejamento, é realizado para garantir que o trabalho não esteja esperando pelos trabalhadores, e que os trabalhadores não estejam esperando no trabalho (SHANG GAO, SUI PHENG LOW, 2014).

A indústria da construção difere em muitos aspectos da indústria manufatureira. Dessa forma, este estudo não pode sugerir simplesmente a aplicação do modelo Toyota na indústria da construção sem modificações. Isso é o que Koskela (1992) chamou de peculiaridades inerentes à construção. O ambiente único e complexo da indústria da construção representa um desafio para gestão da produção.

Porém existe uma interdependência entre a indústria da construção, com a indústria de manufatura, já que alguns tipos de materiais que são utilizados na construção civil como os próprios compostos de aço, são advindos da indústria da manufatura.

Segundo Gao e low (2014) as diferenças entre a indústria de manufatura e a indústria da construção podem ser descritas pelo quadro 1:

Quadros 1- Diferenças entre a Indústria de Manufatura e Construção

Aspectos	Indústria de construção	Indústria de manufatura
Duração	Curto	Longo
Natureza	Natureza única	Repetitiva
Posto de trabalho	Transitório	Estável
Componentes materiais	Não padronizado	Padronizado
Fornecem material	Orientado por cronograma	Orientados por pedidos

Segurança de fornecimento	Menos aplicada	Altamente aplicado
Força de trabalho	Sazonal, baixa segurança no emprego	Não sazonal, superior segurança de emprego
Salários	Varia dependendo da habilidade, experiência e empregador	Políticas salariais mais estáveis
Meio ambiente	Produtividade influenciada pela mudança no meio ambiente	Produtividade menos influenciada pela mudança no meio ambiente
Montagem e produção	A produção final é montada no local	Dentro da fábrica
Tecnologia	Baixo nível de automação, prefere não usar	Melhor e avançado
Qualidade	Relacionado à conformidade do produto; Retrabalho é comum	Mais de perto para processar o controle; Retrabalho é geralmente evitado
Envolvimento do proprietário	Altamente envolvido	Menos envolvido
Cultura	Mal definido, o pessoal do local não sabe nada sobre a filosofia de gestão da empresa	Claramente definido para que a equipe esteja consciente disso
Intervenção regulatória	Solução de design e muitas fases de trabalho em projeto de construção, estão sujeitos a verificações e aprovações por autoridades regulatórias	Menos sujeito a verificações e aprovações

Fonte: Shang Gao, Sui Pheng Low, 2014.

3.1 ESTRUTURAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO *LEAN CONSTRUCTION*

O Sistema Sócio-Técnico de construção enxuta é definido como a combinação de um subsistema técnico e humano no mesmo projeto de trabalho. A construção enxuta e a manufatura enxuta fazem parte do mesmo sócio-tecnológico que é projetar com os mesmos objetivos, atividades e capacidades de força de trabalho, mas com diferentes sistemas técnicos (SHANG GAO, SUI PHENG LOW, 2014).

Este modelo implica que a melhoria operacional irá contar sempre com esforço conjunto dos elementos técnicos e humanos que caracterizam a empresa

enxuta. Concluiu também que as ferramentas apresentadas no contexto do cenário de manufatura enxuta podem ajustar a indústria da construção para suportar os mesmos princípios por exemplo, *just-in-time*, suavização de produção e automação (SHANG GAO, SUI PHENG LOW, 2014).

No sistema “Construção Enxuta em Oito Áreas”, Johansen e Walter (2007), propuseram um modelo conceitual de construção, que pode ser empregada para avaliar o nível de consciência do sistema enxuto de construção. Eles conduziram um questionário para estudar oito áreas em uma organização: design, compras, planejamento/controlado, fornecimento, instalação, colaboração, comportamento e gestão. As áreas escolhidas foram destacadas como fundamental no desenvolvimento de uma cultura enxuta. (SHANG GAO, SUI PHENG LOW, 2014).

Na estrutura “Roda de construção enxuta”, em uma linha semelhante, esforços foram feitos por Diekmann (2004), em que uma equipe de pesquisadores do instituto da indústria da construção (CII) nos EUA, trabalharam para ajudar as construtoras a autoavaliarem até que ponto se conformar aos comportamentos enxutos. Esta estrutura contém cinco princípios chaves:

- 1-Foco no cliente;
- 2-Cultura/pessoas;
- 3-Padronização do local de trabalho;
- 4-Eliminação de resíduos;
- 5-Melhoria contínua/Qualidade integrada (SHANG GAO, SUI PHENG LOW, 2014).

Para a estrutura “Modelos de construção enxuta da perspectiva dos formuladores de políticas”, Green e May (2005), discutiram três modelos dominantes que representam a adoção prática do *lean* em construção. Em primeiro lugar, Green e May (2005) descreveram que o Modelo 1 é limitado ao hardware de produção enxuta e coloca pouco foco nas práticas de recursos humanos. Visa classificar a ineficiência dentro da indústria, alterando o termo de "eliminação de resíduos" para "eliminar desnecessários custos". O Modelo 2 defende que a parceria de projeto e parceria estratégica, se torne unilateral. E não defende a necessidade de apoiar práticas de recursos humanos. O Modelo 3 combina elementos dos dois anteriores e é considerado mais sofisticado. Tem uma ênfase mais forte no contexto institucional. Ademais, há mais atenção a tecnologia e treinamento. (SHANG GAO, SUI PHENG LOW, 2014).

A correlação da produção enxuta com a construção enxuta é descrita por Koskela (2020). Para começar, vale a pena lembrar as diferenças entre os contextos industriais. A construção tem suas peculiaridades: produção única/artesanal, produção local, organização temporária (Koskela, 2020), que contrastam com a produção em massa em uma fábrica por uma organização permanente e, claro, lá existem muitas outras variedades.

Todas as modalidades de *Lean*, na manufatura, saúde, construção e outros campos são indiscutivelmente contextuais, no sentido de que as características e problemas específicos de cada indústria são espelhados no modelo de produção, métodos e ferramentas. Assim, na prática, pode-se esperar que o *Lean* seja diferente, mais ou menos, em diferentes setores. Além disso, o Sistema Toyota de Produção deve ser visto como uma aplicação contextual de princípios gerais ao invés de um modelo genérico para abordar outros contextos (KOSKELA, 2020).

A construção e a manufatura enxuta de automóveis são diferentes, mas comparáveis: resultados da aplicação dos mesmos princípios e métodos em diferentes situações. Outra forma de criar o *Lean Construction* seria começar a partir dos problemas e situações específicas, conforme percebido em construção. E realmente foi assim que surgiu a construção enxuta. Da mesma forma que ocorreu o surgimento do Sistema Toyota de Produção, na construção começou com a resolução local de problemas e com o tempo surgiu um novo modelo de produção (KOSKELA, 2020).

A construção enxuta é um modelo de produção contextual emergente de tentativas de resolver problemas específicos da indústria, problemas de construção e a aplicação de princípios, métodos e ferramentas genéricos de produção *Lean*, originado na fabricação de automóveis (KOSKELA, 2020).

3.2 BIM E *LEAN*

O BIM – *Building Information Modeling* (Modelagem da informação da construção), é como uma ferramenta de gestão de instalações durante o ciclo de vida do empreendimento, constituindo uma base de informação confiável, verificável, transparente e sustentável que as equipes utilizam na exploração da instalação, ao longo de todo o seu ciclo de vida (NEVES, 2017).

Alguns benefícios do BIM para a indústria da construção civil são:

- Melhoria da produtividade;
- Projetos mais eficientes;
- Produção mais rápida;
- Suporte otimizado para automatizar e reduzir erros;
- Visualização do projeto;
- Redução de retrabalho;
- Compatibilização de projetos (NEVES, 2017).

Apesar do BIM e do *Lean Construction* serem conceitos diferentes e separados, existe sinergia entre eles. O BIM como processo e metodologia, tem características que são fundamentais na eliminação de desperdícios na construção e, desta maneira, estimula a implementação dos princípios *Lean* e oferece características que promovem maior fluxo no trabalho (NEVES, 2017).

Um exemplo de ligação entre o BIM e o *Lean* é a possibilidade de o BIM detectar conflitos, no software BIM permite a eliminação de confrontos entre as disciplinas de design. Isso possibilita a redução dos atrasos e retrabalhos no local de execução. Com a utilização simultânea do BIM e do *Lean* pode-se alcançar uma abordagem denominada *Integrated Project Delivery* – IPD (Entrega do projeto integrado). Esse conceito integra pessoas, sistemas, estruturas empresariais e práticas em processo colaborativo que o utiliza os potenciais de todos os participantes no projeto para otimizar os resultados, aumentar o valor para o proprietário e maximizar a eficiência em todas as fases do projeto. Contudo, espera-se, com a adoção da abordagem BIM-*Lean*, uma gestão mais confiável e com menor variabilidade nos processos (NEVES, 2017).

3.3 JUST-IN-TIME (JIT)

Pelo fato de o Japão ser uma país pequeno em extensão territorial, possuir poucos recursos naturais e ser populoso, seria necessário que fosse evitado qualquer tipo de desperdício afim de obter um custo total de produção menor, para poder competir com o mercado internacional. Com a crise do petróleo, em 1973, seguida de recessão, as consequências foram graves, principalmente no Japão, que a economia atingiu níveis de crescimento zero, sendo forçada a lidar com decréscimos de

produção. O mundo empresarial no geral, percebeu a necessidade de modificar e revisar os modelos de gestão de materiais, controle de produção e a gestão de recursos humanos (DIAS GRAÇA, 2003).

O sistema *just-in-time* é uma filosofia de administração da manufatura, que surgiu no Japão, em meados da década de 70, onde a *Toyota Motor Company* tendo a sua ideia básica, foi responsável pelo seu desenvolvimento, tendo como principal objetivo, não apenas eliminar os desperdícios, mas também colocar o componente certo, no lugar certo e na hora certa (SANTOS, 2014).

O *just-in-time* é uma filosofia de produção, que apoiada no desenvolvimento empresarial e no envolvimento das pessoas, visa melhoramento contínuo a partir da eliminação dos desperdícios e simplicidade operacional. Com qualidade assegurada e adaptação rápida a mudanças possibilita o atendimento das necessidades dos clientes (CHAMORRO, 1994).

Diante das definições descritas por autores conforme o passar do tempo, o *just-in-time* pode se apoiar nos princípios de: Satisfazer as necessidades dos clientes, eliminação de desperdícios, capacidade de mudança, qualidade total, simplicidade de métodos e processos, envolvimento das pessoas e constante desenvolvimento. (CHAMORRO, 1994).

As técnicas do *just-in-time* representam os meios para combater os desperdícios e melhorar a produtividade, bem como atingir a competitividade da empresa. Dentre estas técnicas, destacam-se a organização do local de trabalho, a visibilidade, o *layout*, a manutenção produtiva total e o tempo de ciclo (DIAS GRAÇA, 2003).

Algumas vantagens do *just-in-time* podem ser analisadas pelos principais critérios competitivos, a qualidade, flexibilidade, velocidade, confiabilidade e redução de custo, as equipes trabalham corrigindo os erros de imediato e verificando a qualidade, baixos estoques que permitem que o produto seja entregue mais rápido ao cliente e utilizam um programa de manutenção preventiva. Mas existem algumas limitações no sistema *just-in-time*, como os estoques de matérias-primas é pequeno, qualquer falta de material pode promover parada na produção. Há dificuldade na operacionalização, pois se trata de uma filosofia que envolve várias funções, que necessitam de total sincronização entre si, e por fim exige mudanças profundas na cultura organizacional e envolvimento de todos no processo (DIAS GRAÇA, 2003).

3.4 O PROGRAMA 5S

O 5S surgiu na década de 50 no Japão, é um método que pode ser utilizado com o objetivo de promover o ordenamento e a limpeza. O programa 5S deriva de palavras japonesas iniciadas com a letra “S”: Seiri (utilização), seiton (ordenação), seiso (limpeza), seiketsu (higiene) e shitsuke (autodisciplina), no canteiro de obras, assume a função de organização, deixando o ambiente livre de materiais que não são utilizados, limpo e seguro (GONZALEZ, 2017).

O programa 5S é descrito abaixo com o que cada S significa:

- Senso de utilização: consiste em eliminar o que é desnecessário, deixando apenas os itens que são úteis para realização da tarefa, resultando em liberação de espaço; na melhoria do fluxo; na racionalização do uso dos bens; na redução do número de dispositivos e utensílios;
- Senso de organização: consiste em manter o ambiente ordenado, identificando e sinalizando o meio, os materiais e as ferramentas. Portanto, é necessário um layout que seja a favor da segurança e que tenha acesso facilitado aos itens indispensáveis e aos locais de trabalho. Importante ressaltar que esse senso de organização compreende, também, o planejamento e a organização das tarefas diárias, que são fundamentais para a produtividade;
- Senso de limpeza: a realização da limpeza e a eliminação da sujeira do ambiente de trabalho são uma oportunidade de redução de fontes de problemas na empresa. A aplicação deste senso em um canteiro de obras pode resultar em locais de trabalho mais limpos. A prática deve ser motivada, pelo entendimento de que cada operador é responsável pelo seu local de trabalho e pela sujeira que produz;
- Senso de segurança: esse senso permite o desenvolvimento de condições favoráveis de saúde física e mental. Em um canteiro de obras, segurança é imprescindível e o uso de equipamentos de proteção individual é indispensável, além de treinamento e conscientização para a conservação na integridade física e da saúde.
- Senso de autodisciplina: o objetivo deste senso é desenvolver a disciplina, que corresponde a cumprir as normas e tudo que lhe for determinado (ANJOS; OLIVEIRA, 2018).

4 LAJES

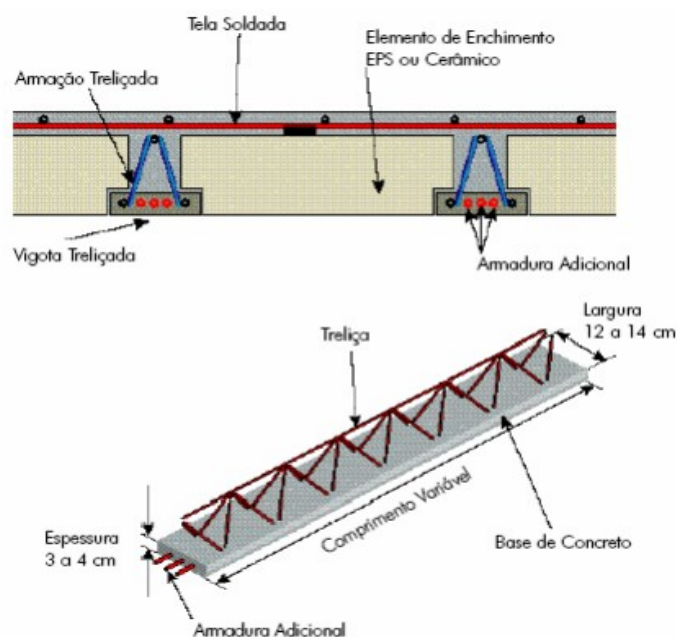
Lajes são elementos estruturais laminares, submetidos a cargas predominantemente normais à sua superfície média e que tem a função de resistir às cargas de utilização atuantes na estrutura. As lajes são classificadas como integrantes da estrutura terciária da superestrutura de uma edificação, tendo finalidade de suportar a aplicação direta das cargas distribuídas em superfície (CLÍMACO, 2016).

4.1 LAJES NERVURADAS PRÉ MOLDADAS TRELIÇADAS

Conforme o item 14.7.7 da NBR 6118:2014, as lajes nervuradas podem ser moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras dispostas em uma ou duas direções com espaçamentos regulares formando vazios entre si, sendo colocado um material de preenchimento entre as nervuras pré-moldadas.

As lajes treliçadas no Brasil são utilizadas há mais de 25 anos, porém seu crescimento ascendente deu por meados da década de 1990 (GONZATTI; MADUREIRA, 2017). As vigotas de painéis treliçados permitem uma melhor aderência ao capeamento do concreto moldado in loco e, também, algumas facilidades deste sistema estrutural (SPOHR, 2008). Abaixo, na figura 1, mostra o detalhe da laje com armação treliçada.

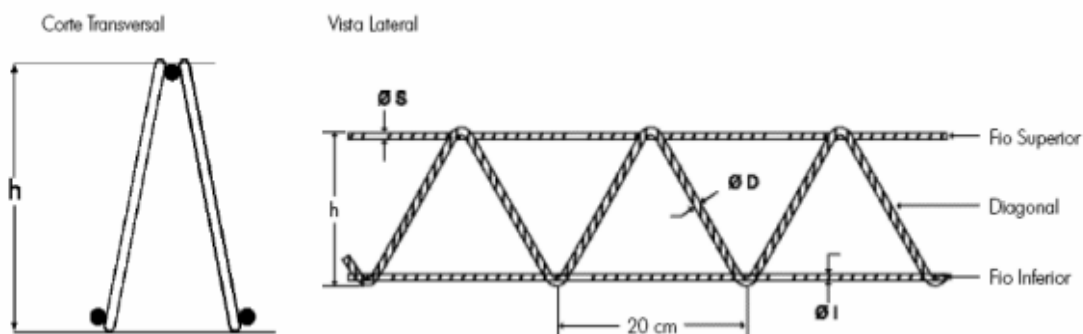
Figura 1 - Laje com Armação Treliçada



Fonte: Belgo, 2006

Os fios longitudinais superiores (ΦS), garantem a rigidez ao conjunto e ainda podem colaborar como armadura resistente ao momento fletor negativo após a retirada dos escoramentos, e como armadura de compressão durante a montagem e concretagem da estrutura treliçada. As diagonais ΦD , além de colaborarem como armadura resistentes à força cortante, serve para a ligação entre o concreto do elemento pré-moldado e o concreto de capeamento. Já os fios longitudinais inferiores ΦI colaboram como armadura resistente ao momento fletor positivo (SPOHR, 2008). Na figura 2, observa-se um detalhe da armação treliçada que faz parte da laje treliçada.

Figura 2 - Armação Treliçada



Fonte: Belgo, 2006

Os elementos de enchimento são componentes pré-fabricados com materiais inertes diversos. Podendo ser maciços ou vazados. Na construção civil brasileira destacam-se os blocos cerâmicos (conhecido como tabelas cerâmicas) e o EPS. Esses componentes tem a função de reduzir o volume de concreto e conseqüentemente o peso próprio da laje diminui, além de servir como forma do concreto complementar. Esses materiais são leves e não tem função estrutural. (GONZATTI; MADUREIRA, 2017)

As lajes treliçadas têm sua altura variando entre 10 e 30 cm, com vãos usuais de 4 a 7 m, podendo chegar a vãos de até 12 m. (ALBUQUERQUE, 1999)

Algumas vantagens deste sistema de lajes com armação treliçada em relação ao sistema tradicional de lajes maciças são (SPOHR, 2008):

- Diminuição do peso da laje;
- Rapidez da execução e a economia de formas;
- Sensível redução do escoramento das lajes, já que se recomenda apenas a colocação de escoras com travessas entre 1,05 m e 1,90 m, dependendo do tipo de escoramento (metálico ou madeira), durante a fase de cura do concreto;
- Reduz a quantidade de estoque e movimentação de materiais no canteiro de obras;
- Diminuem os custos de mão-de-obra de pedreiros e carpinteiros;
- Os blocos EPS têm como vantagem o fato de deixarem o teto pronto para receberem o acabamento, além de serem muito leves ($\gamma = 0,1$ a $0,25$ kN/m³);

4.2 LAJE MACIÇA DE CONCRETO

As lajes maciças são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas, sendo este o tipo de laje predominante em edifícios residenciais, onde os vãos são menores. (GONZATTI; MADUREIRA, 2017)

Um sistema convencional de estruturas de concreto armado é aquele que pode ser constituído basicamente por lajes maciças, vigas e pilares, sendo que as lajes recebem os carregamentos vindos da utilização, os quais são transmitidos para as vigas que por sua vez transmitem seus esforços para os pilares e esses para as fundações. (SPOHR, 2008)

A laje maciça não é adequada para vencer grandes vãos, devido ao seu peso próprio. É prática usual adotar-se como vão médio econômico das lajes, um valor entre 3,5 m e 5 m (GONZATTI; MADUREIRA, 2017).

Algumas características desse sistema citadas por Spohr (2008):

- Apresenta uma grande quantidade de vigas, deixando as formas do pavimento muito recortadas, diminuindo a produtividade e o reaproveitamento de formas;
- Grande consumo de formas;
- Existência de muitas vigas, mas por outro lado formam muitos pórticos que garantem uma boa rigidez à estrutura;
- Um dos sistemas mais utilizados, portanto, a mão de obra já é treinada;
- Grande volume de concreto, devido ao consumo das lajes.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as lajes maciças devem respeitar os seguintes valores mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $l/42$ para lajes de piso biapoiadas e $l/50$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

4.3 LAJE PROTENDIDA

As lajes protendidas com cordoalhas não aderentes têm sido executadas nos Estados Unidos, principalmente na Califórnia, desde o final da década de 50. Inúmeras lajes com essa tecnologia já foram executadas e validam o seu excelente desempenho e dos métodos de cálculo e de detalhamento utilizados no projeto das mesmas. No Brasil, somente a partir de 1997, as cordoalhas engraxadas e plastificadas começaram a ser fabricadas pela Belgo Mineira, seguindo as especificações do PTI – *Post Tensioning Institute*, dos Estados Unidos (LOUREIRO, 2006).

Com relação à esbeltez (L/h), estas lajes são capazes de vencer grandes vãos utilizando pequenas espessuras. Ademais, apresentam fissuração e flechas reduzidas, pois, além da pré-compressão, a protensão balanceia grande parte das cargas permanentes e somente uma parte da carga total é que provoca flechas e tensões de tração no concreto, mas a protensão atua com a peça comprimida do concreto. Considerando que normalmente essas tensões são inferiores à resistência do concreto à tração, o cálculo das flechas pode ser feito adotando-se o momento de inércia da seção bruta de concreto, que é de duas a três vezes maior do que o da seção fissurada. O uso de materiais de alta resistência, contribuem também para um melhor desempenho em serviço e maior resistência no estado limite último (LOUREIRO, 2006). A figura 3 apresenta as cordoalhas de aço engraxadas ancoradas no final da laje, com espera para ser realizada a protensão posteriormente.

Figura 3 - Cordoalhas de Aço



Fonte: Autor, 2020.

É importante notar que as lajes protendidas passam por um teste no ato da protensão, a cordoalha está submetida a uma tensão máxima de tração,

aproximadamente 80% da sua tensão de ruptura e a força de compressão no concreto na região de ancoragem também é máxima, quando a resistência do concreto ainda é 65% da sua resistência última. Ademais, logo após a transferência da força da protensão, a tensão no cabo cai para 70% (LOUREIRO, 2006).

As lajes protendidas tem várias vantagens construtivas, permitem pés-direitos menores, resultando em uma menor altura do edifício ou mais pavimentos, muito usada em estacionamento de shopping centers, pé direito de 2,50 m para que possa ser diminuída as escavações de subsolos, pois geralmente necessitam vencer vãos de 8 metros ou mais e acabam sendo um dos tipos de laje mais adequada para esta situação (LOUREIRO, 2006).

Também como vantagem, é utilizada em pisos de grande comprimento, até 72 metros sem junta de dilatação, pois a pré-compressão introduzida pela protensão combate a fissuração devido a retração do concreto. Além disso, a simples execução de forma plana, a facilidade das ancoragens individuais e de baixo peso, bem como a agilidade no manuseio de cordoalhas engraxadas, resultam numa maior rapidez de execução da estrutura. Com o uso de macacos hidráulicos esta operação de protensão é simples e rápida (LOUREIRO, 2006).

Podemos destacar então os principais fatores que aceleram o desenvolvimento da laje plana protendida:

- A racionalização das formas e a facilidade da execução em comparação ao sistema convencional de vigas e lajes;
- A diminuição do tempo de construção em decorrência da racionalização natural que ocorre nos métodos de execução nas lajes protendidas;
- As vantagens econômicas que o sistema oferece;
- A esbeltez, simplicidade e elegância da estrutura, feita com lajes planas, lisas e protendidas além de sua notável linearidade;
- Por serem estruturas mais leves, que utilizam menos elementos estruturais, as cargas nas fundações são minimizadas -(SCHMID, 2009).

Algumas das principais desvantagens de se utilizar o sistema construtivo com laje protendida são:

- Carência de mão de obra especializada;
- Dependendo da geometria da estrutura pode ser inviável a técnica ou financeiramente;

- Carência de profissionais da área de projetos e cálculo estrutural devido possivelmente a falta de uma maior divulgação deste procedimento;
- É necessário concreto de alta resistência, o que nem sempre é possível conseguir devido ao seu custo mais elevado ou indisponibilidade no local da obra (CASTRO, 2011).

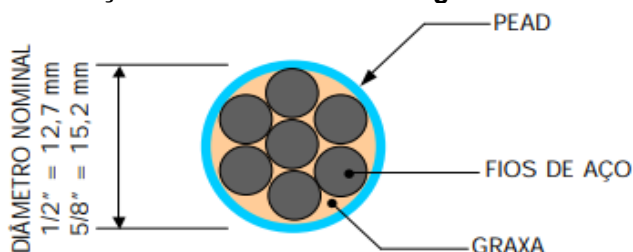
4.3.1 Processos Executivos de Lajes Protendidas

Existem dois sistemas de protensão com pós-tração para serem empregados em lajes protendidas, com aderência ou sem aderência entre o cabo e o concreto (EMERICK, 2002).

Neste trabalho será abordado o sistema de protensão não aderente que é feito com cordoalhas engraxadas e plastificadas. De acordo com o catálogo técnico Belgo, as cordoalhas engraxadas são iguais as cordoalhas tradicionais, mas com a adição de um revestimento de PEAD-polietileno de alta densidade, impermeável, durável e muito altamente resistente (EMERICK, 2002).

Esse revestimento é extrudado sobre toda a cordoalha já engraxada, permitindo total movimentação da cordoalha no seu interior, a graxa e o revestimento PEAD-polietileno devem atender as especificações do PTI (*Post-tensioning Institute*). As bitolas disponíveis para comercialização são de 12,7 mm e 15,2 mm e as massas aproximadas respectivamente são de 890 kg/km e 1240 kg/km (EMERICK, 2002). Abaixo na figura 4, consegue-se visualizar a seção transversal da monocordoalha de aço engraxada com 7 fios:

Figura 4 - Seção da Monocordoalha Engraxada com 7 Fios



Fonte: Emerick, 2002

Deve-se ter um cuidado especial com as cordoalhas, quaisquer rasgos ou falhas no revestimento de PEAD-polietileno deve ser reparado e corrigido antes do

lançamento do concreto para que se tenha o isolamento da cordoalha em relação ao concreto (EMERICK, 2002).

Algumas considerações que são feitas em relação ao sistema de monocordoalhas engraxadas sem aderência segundo Emerick são (2002):

- A protensão sem aderência só ocorre quando as armaduras de aço estão ancoradas no concreto nas extremidades da laje estrutural. A falta de aderência pode não evitar fissuração, sendo assim necessária uma armadura aderente (passiva) para prevenir as fissuras;
- Geralmente o comprimento dos cabos não deve ultrapassar 40 m. Acima disso, deve ser adotada ancoragens intermediárias, criando juntas de concretagem;

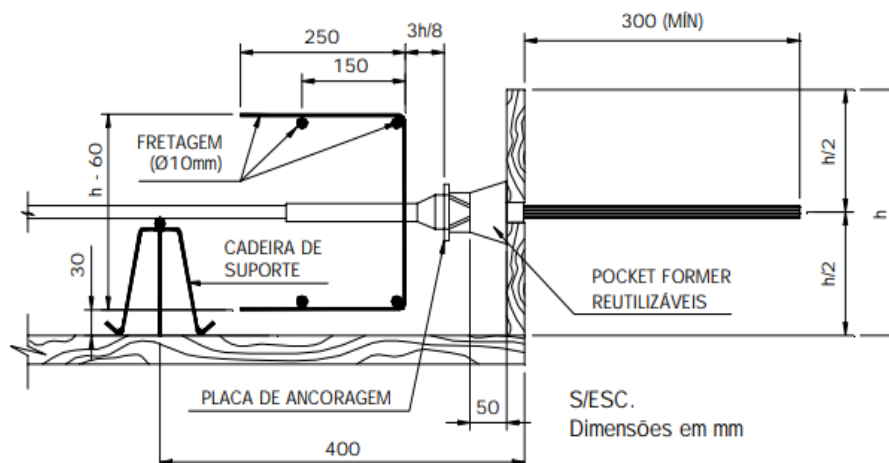
Algumas vantagens podem ser destacadas dos cabos constituídos por cordoalhas engraxadas plastificadas são:

- Rapidez na montagem;
- Diminuição das perdas de atrito;
- Pode-se ter alguma economia em relação a protensão aderente;
- Eliminação do serviço de injeção de calda de cimento;
- O aço fica protegido da corrosão devido a graxa;
- É permitido a reprotensão tomando todos os cuidados especiais;
- Aumento da excentricidade que se obtém com a monocordoalha em relação a bainha achatada (EMERICK, 2002).

4.3.2 Equipamentos Para Protensão

O equipamento que é utilizado para realizar a protensão é o macaco hidráulico, que na borda lateral da laje, estica as cordoalhas até atingirem a força determinada em projeto. Antes de fazer a retirada do macaco hidráulico, cravam-se as cunhas de fixação nas ancoragens (EMERICK, 2002). Na figura 5, mostra um detalhe da montagem da ancoragem ativa na forma.

Figura 5 - Detalhe da Montagem da Ancoragem Ativa na Forma



Fonte: Emerick, 2002

Os macacos hidráulicos e o manômetro da bomba devem ser calibrados e conferidos antes do momento da protensão. O equipamento deve ser mantido em lugar limpo e seco, a operação desse tipo de equipamento deve ser realizada somente por pessoa treinada e qualificada (EMERICK, 2002). Na figura 6 observa-se a execução da protensão pelo macaco hidráulico.

Figura 6 - Macaco Hidráulico Realizando a Protensão na Cordoalha



Fonte: Autor, 2020

Algumas espessuras são mais usuais para projeto de lajes lisas protendidas com cordoalhas engraxadas, tabela 1 (EMERICK, 2002):

Tabela 1 - Espessuras de Lajes Lisas Protendidas com Cordoalha Engraxada

VÃO LIVRE ENTRE APOIOS (m)	ESPESSURA MÍNIMA (cm)
Até 7	16
De 7 até 8	18
De 8 até 9	20
De 9 até 10	22
De 10 até 11	24

Faixa econômica: 7 a 9 metros (h = 18 a 20 cm)

Fonte: Emerick, 2002.

4.3.3 Controle de Qualidade Utilizado na Laje para o Concreto

Para determinar o controle de qualidade e preparo do concreto na laje segue-se a ABNT NBR 12655, 2015. O controle preparado por empresa de serviços de concretagem, a central deve assumir a responsabilidade pelo serviço e cumprir as prescrições relativas às etapas de preparo do concreto, bem como as disposições desta Norma e da ABNT NBR 7212.

Devem ser realizados ensaios de consistência pelo abatimento do tronco de cone, conforme a ABNT NBR NM 67 ou pelo espalhamento e habilidade passante em fluxo livre, no caso de concreto autoadensável, conforme ABNT NBR 15823-2 e ABNT NBR 15823-3, respectivamente. A amostragem deve ser coletada aleatoriamente durante a operação de concretagem, conforme a ABNT NBR NM 33. Cada exemplar deve ser constituído por dois corpos de prova da mesma amassada, conforme a ABNT NBR 5738, para cada idade de rompimento, moldados no mesmo ato. Torna-se como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

4.4 CARACTERÍSTICAS DA LAJE TRELIÇADA PRÉ-MOLDADA, LAJE MACIÇA E LAJE PROTENDIDA

Abaixo exibe-se um quadro comparativo entre os 3 tipos de lajes bastante usuais no Brasil, para que se possa entender melhor as características principais de cada tipo de laje, segue no Quadro 2 – Características dos tipos de lajes:

Quadros 2 - Características dos tipos de lajes

Laje maciça	Laje treliçadas pré-moldadas	Laje protendida
Sistema mais convencional, concreto armado (vigas, pilares e lajes)	Crescimento a partir da década de 90	Crescendo muito no Brasil nos últimos anos
Vãos de 3,5 a 5 m	Vãos de 4 a 7 m	Vãos de 7 a 20 m (podendo até ser maior, dependendo do projeto)
Apresenta muitas vigas, desperdício de formas	Enchimento (EPS ou blocos cerâmicos)	Racionalização de formas, não necessita de vigas
Forma pórticos que garantem rigidez	Espessuras de 10 a 30 cm	Laje elegante, pela esbeltez e linearidade
Mão de obra já é treinada	Fácil execução	Apesar de ser tecnológica, é de fácil execução

Fonte: Autor, 2020

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

Segundo Fellows e Liu (2015) a primeira classificação de uma pesquisa é de sua aplicação, sendo pura ou aplicada. No contexto da construção civil, grande parte das pesquisas é uma combinação de “pesquisa pura” e “pesquisa aplicada”, ou seja, teorias e aplicações. Em síntese, a pergunta feita para uma pesquisa pura seria “isto é verdade?”, enquanto para uma pesquisa aplicada a pergunta seria “isto funciona?”.

Este trabalho possui uma característica mais marcante de pesquisa aplicada do que de pura, pois serão aplicados conceitos da construção enxuta ao método construtivo de lajes protendidas para analisarmos a maturação do sistema na região, de modo a serem obtidos parâmetros de desempenho, sem que haja contribuição para a base teórica existente.

Esta pesquisa se classifica como um estudo de caso e pesquisa qualitativa. A unidade de análise do estudo é uma construtora e a investigação são os princípios da construção enxuta para se verificar a maturidade do sistema de laje protendida.

5.1 DEFINIÇÕES DA POPULAÇÃO ALVO

Define-se como população, segundo Marconi e Lakatos (2003) a delimitação do universo, ou seja, é a união dos seres animados ou inanimados que juntos apontam ao menos um aspecto em comum. Nessa pesquisa, a população é definida como a construção civil do município de Francisco Beltrão-PR.

5.2 TÉCNICAS DE ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Análise e interpretação possuem definições diferentes, segundo Marconi e Lakatos 2003, análise significa:

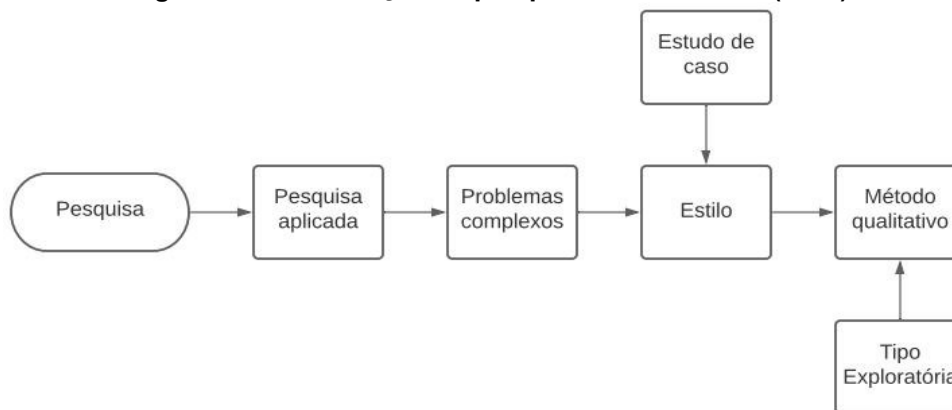
Análise (ou explicação). É a tentativa de evidenciar as relações existentes entre o fenômeno estudado e outros fatores. Essas relações podem ser “estabelecidas em função de suas propriedades relacionadas de causa-efeito, produtor-produto, de correlações, de análise de conteúdo etc. (MARCONI; LAKATOS 2003, pg.167).

E, ainda, o mesmo autor descreve interpretação como:

Atividade intelectual que procura dar um significado mais amplo às respostas, vinculando-as a outros conhecimentos. Em geral, a interpretação significa a exposição do verdadeiro significado do material apresentado, em relação aos objetivos propostos e ao tema. Esclarece não só o significado do material, mas também faz ilações mais amplas dos dados discutidos (MARCONI; LAKATOS 2003, pg.168).

Na figura 7, observa-se o processo de classificação da pesquisa.

Figura 7 - Classificação da pesquisa Fellows e Liu (2015)



Fonte: Autor, 2020

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

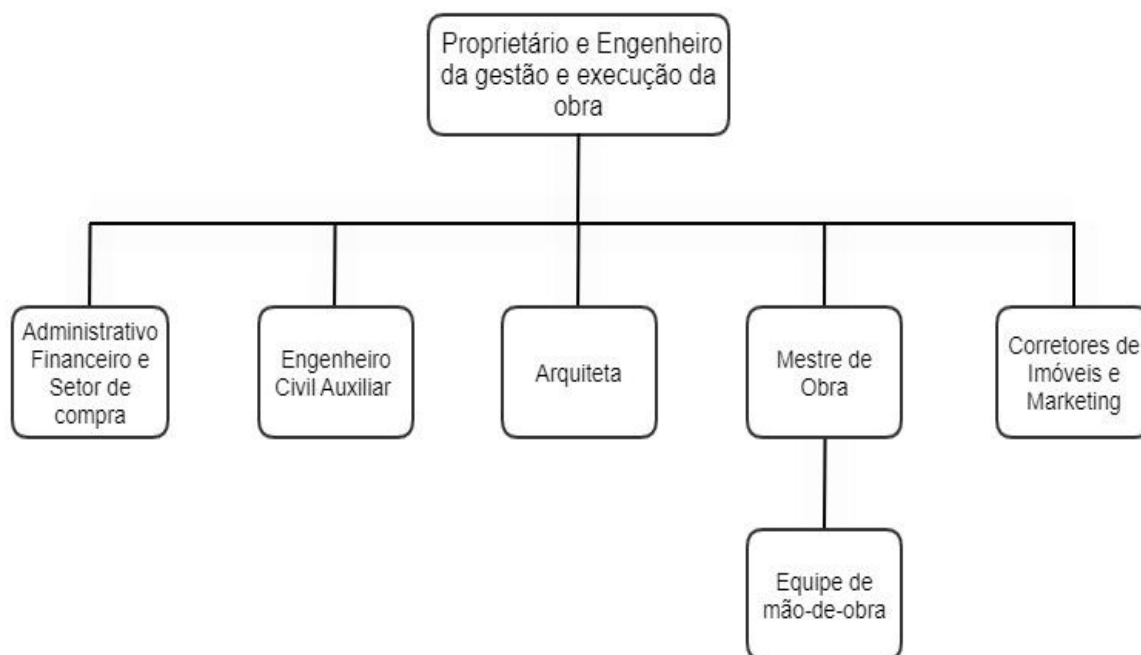
6.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA EMPRESA

O estudo de caso foi realizado em uma construtora que atua na cidade de Francisco Beltrão-PR e região, construindo desde unidades habitacionais de interesse social até médio-alto padrão, entre diversos tipos como casas, sobrados e atualmente com sua primeira edificação predial.

6.1.1 Estrutura Organizacional

A organização da empresa atualmente é apresentada na Figura 8:

Figura 8 - Estrutura Organizacional da Empresa



Fonte: Autor, 2021

6.1.2 Descrição da Obra em Estudo

O empreendimento possui 8 pavimentos, onde estão distribuídos 12 apartamentos. Uma característica que chama a atenção do edifício em estudo é o

método construtivo da estrutura, foi utilizado laje protendida, que já se torna forte tendência na cidade de Francisco Beltrão e região.

O Edifício tem uma área total de 3.251 m² de área construída. A seguir, nas Figuras 9 e 10, observa-se o projeto arquitetônico do empreendimento e a situação atual da obra.

Figura 9 – Projeto arquitetônico, vista da fachada



Fonte: Autor, 2021

Figura 10 - Obra atualmente

Fonte: Autor, 2021

6.2 APRESENTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Por meio de uma reunião no local da construção com o engenheiro responsável pelo empreendimento, foram apresentados os onze princípios da construção enxuta propostos por Koskela (1992). Um processo que consiste em apresentar os princípios e identificar a utilização deles pela empresa ou propor sua implementação. Então, os onze princípios da construção enxuta foram listados e descritos a sua identificação ou implantação a seguir:

- 1) Reduzir a Participação de Atividades que não Agregam Valor;
- 2) Aumentar o Valor do Produto Através da Consideração das Necessidades do Cliente;
- 3) Reduzir a Variabilidade;
- 4) Reduzir o Tempo de Ciclo;
- 5) Simplificar, Minimizando o Número de Etapas, Peças e Ligações;

- 6) Aumentar a Flexibilidade de Produção;
- 7) Aumentar a Transparência do Processo;
- 8) Concentrar o Controle no Processo Completo;
- 9) Construir Melhoria Contínua no Processo;
- 10) Equilibrar a Melhoria do Fluxo com a Melhoria da Conversão;
- 11) Referenciais (Benchmarking).

Abaixo são respondidas e analisadas as perguntas da proposta de lista de verificação para diagnóstico dos princípios da construção enxuta que constam logo após, no item 6.3 deste trabalho.

6.2.1 Reduzir a Participação de Atividades que não Agregam Valor

Para evidenciar este princípio, foi levado em consideração se o arranjo do canteiro de obras era favorável e otimizado, como, por exemplo: os locais de armazenamento de materiais e equipamentos eram próximos aos locais de utilização, locais de cargas e descargas eram de fácil acesso e se existia uma boa circulação no canteiro.

Durante o estudo de caso, foi observado que o canteiro de obras atende a esses requisitos. Uma vez que foi planejado para ter as movimentações facilitadas e a logística interna otimizada. A Figura 11 mostra como o canteiro de obras está alocado, apresentando as estações de trabalho compatíveis com a etapa da construção.

Figura 11 - Canteiro de obras



Fonte: Autor, 2021

Para este princípio também foi verificado que o planejamento segue de acordo, mas que em alguns momentos os trabalhadores se alternam nas funções, por exemplo: os carpinteiros trabalham na armação alguns dias, o que se sabe que não é a alternativa mais eficiente.

6.2.2 Aumentar o Valor do Produto Através da Consideração das Necessidades do Cliente

Neste princípio, foi levado em consideração tanto os clientes externos como os internos. Considera-se os clientes internos os colaboradores da empresa e os clientes externos são os compradores dos imóveis.

Começou a análise deste princípio através da verificação dos processos construtivos, se foram mapeados e se é seguido um sequenciamento de atividades, e como observou-se que era uma empresa terceirizada que estava à frente do processo construtivo da laje protendida, verificou-se então que existia um padrão, um processo construtivo a ser seguido pela equipe e também foi notório como a mão-de-obra da empresa já estava adaptada ao sistema construtivo e suas etapas.

Também, um segundo ponto a ser levado em consideração para avaliar este princípio, foi em relação à pesquisa de mercado e avaliação pós ocupação. E em reunião com o proprietário da construtora e que também é o engenheiro responsável pela obra, foi relatado que para chegar no resultado final de projeto do empreendimento foram levados em consideração os seguintes fatores: prédios desse mesmo porte, que estão em execução e tendo uma boa comercialização na cidade de Francisco Beltrão, atenção em entregar um projeto de qualidade e com visual atraente, e o método construtivo de lajes protendidas, que está sendo bem aceito na cidade de Francisco Beltrão, tornando-se uma tendência.

Outra análise que foi realizada para a discussão deste princípio, foi em relação a retroalimentação com os projetistas para que fossem debatidas as necessidades dos clientes e se existe um planejamento das tarefas para garantir as atividades dos funcionários da empresa. Para isso foi debatido em reunião com o engenheiro responsável que existe contato frequente com os projetistas, na parte arquitetônica de interiores, a construtora está deixando bem flexível para os clientes que vão adquirindo as unidades, alterarem o layout conforme as suas necessidades, já que o empreendimento está sendo executado com lajes protendidas é possível que sejam feitas alterações de layout com certa tranquilidade. Na Figura 12 observa-se como é um pavimento e o quão flexível o layout pode ser:

Figura 12 - Estrutura de um pavimento da edificação



Fonte: Autor, 2021

E também é atendido todos os requisitos de desempenho. E com relação ao planejamento também foi realizado além de um planejamento das atividades, um cronograma no Excel, no qual todas as etapas são realizadas pensando na seguinte, para evitar o retrabalho ao máximo.

6.2.3 Reduzir a Variabilidade

É muito comum no contexto da construção civil que as incertezas e a variabilidade sejam elevadas, então para analisarmos este princípio procurou-se entender como eram os processos, os recebimentos dos materiais, o controle de qualidade/variabilidade na execução das tarefas e o controle da produtividade.

Primeiramente, nos procedimentos, para execução das lajes protendidas foi contratada uma empresa terceirizada especializada para realizar o projeto estrutural com laje protendida e para organização e disposição das tarefas na execução das lajes. Quanto aos recebimentos dos materiais e à organização dos locais onde vão ser armazenados, fica a cargo do mestre de obras junto da equipe que fica responsável pelas movimentações. Alguns locais de armazenamento dos materiais no canteiro de obras são apresentados nas Figuras 13 e 14.

Figura 13 - Armazenamento de material no canteiro de obras (Pavimento Térreo)



Fonte: Autor, 2021

Figura 14 - Armazenamento de material no canteiro de obras



Fonte: Autor, 2021

Quanto à qualidade dos serviços, ou variabilidade, o engenheiro responsável realiza monitoramento contínuo das execuções de todas as atividades. Além disso, o engenheiro de obra é quem coordena a equipe de compra de materiais, garantindo a qualidade dos insumos empregados e também acompanhando a evolução de custos da obra. Além disso, com relação à produtividade, o engenheiro responsável afirma que em média foram gastos 20 dias para realização de 1 laje, ou seja, um ciclo completo de um pavimento, o que está ocorrendo conforme o planejamento e cronograma da obra.

6.2.4 Reduzir o Tempo de Ciclo

Esse princípio consiste em reduzir a soma de todos os tempos gastos (transporte, espera, processamento e inspeção) para produzir um determinado produto. Para isso, fora verificado se há boas condições de trabalho, com segurança e equipamentos adequados, também se verificou como é realizada a divisão dos ciclos e, por último, se existe alguma evidência da eliminação de atividades de fluxo.

Por meio de vistas periódicas à obra, foi observado que todos os colaboradores fazem a utilização dos EPIs e há fornecimento de uma boa condição de trabalho. Além disso, os colaboradores têm boas relações interpessoais e, vale citar, que são realizados intervalos nos dois turnos. Quanto à segurança dos trabalhadores, há reuniões uma vez ao mês, com técnicos de segurança do trabalho que repassam todas as orientações de segurança que os colaboradores necessitam. Na Figura 15 nota-se alguns dos EPIs que são utilizados em obra pelos colaboradores.

Figura 15 - EPIs utilizados pelos colaboradores

Fonte: Autor, 2021

Além disso, procurou-se identificar como é feita a divisão dos ciclos. Verificou-se que nesta etapa da obra está sendo executada apenas a estrutura, então os ciclos se dividem por pavimento. Dentro do ciclo de um pavimento possuem várias tarefas, como, por exemplo: Conferência do eixo, armadura e caixaria dos pilares, travamento e concretagem dos pilares, montagem do escoramento da laje, montagem e travamento da caixaria das vigas, laje e escada, armadura das vigas, laje e escada, montagem da protensão e concretagem. Seguindo este formato de construção, tendo a disposição apenas um jogo de escoras metálicas, fôrmas e travamento dos elementos, e analisando o desempenho desta equipe de mão-de-obra, não foram identificadas atividades que possam ser reduzidas o tempo das tarefas dentro de um ciclo. Nas Figuras 16 e 17 temos o escoramento da laje completo.

Figura 16 - Escoramento da laje completo



Fonte: Autor, 2021

Figura 17 - Escoramento da laje completo



Fonte: Autor, 2021

Já na Figura 18 mostra o escoramento reduzido, após 5 dias da concretagem e que já foi realizado a protensão.

Figura 18 - Escoramento da laje reduzido



Fonte: Autor, 2021

Logo em seguida, na Figura 19 pode-se visualizar como as cordoalhas estão dispostas na laje.

Figura 19 - Cordoalhas dispostas na laje



Fonte: Autor, 2021

6.2.5 Simplificar, Minimizando o Número de Etapas, Peças e Ligações

É evidente que quanto maior o número de componentes ou passos num determinado processo, maior é o número de atividades que poderiam ser excluídas, ou seja, agregam pouco ou nenhum valor. Então, fora observado, baseando-se neste princípio, se na obra há a utilização de elementos pré-fabricados ou máquinas polivalentes, bem como se no processo é realizado uma constante avaliação, buscando melhorias.

Alguns materiais já chegam pré-fabricados na obra, como as monocordoalhas de aço engraxadas que são entregues em rolos grandes para apenas serem cortadas e posicionadas; a tela soldada para a parte que vem logo acima do tablado na laje; e o escoramento metálico é pré-fabricado e também chega com projeto para posicionamento. Ainda nesse contexto, a obra possui uma grua, que agiliza o transporte de materiais na vertical. Na Figura 20, observa-se como as cordoalhas de aço engraxadas chegam na obra e a Figura 21 apresenta a grua da obra.

Figura 20 - Monocordoalhas de aço engraxadas



Fonte: Autor, 2021

Figura 21 - Grua na obra

Fonte: Autor, 2021

Verificou-se que a construtora busca a melhoria contínua dos processos, o que atende a este princípio. Há no empreendimento a constante avaliação visando melhorias, as avaliações são realizadas por reuniões, tanto coletivas quanto individuais, que tem também por objetivo alertar, principalmente com relação à

segurança do trabalho à produtividade da equipe, buscando solucionar impasses e melhorar o processo para todos os envolvidos.

6.2.6 Aumentar a Flexibilidade de Produção

A flexibilidade da produção consiste numa estratégia que permite, dentro de determinados limites, sem comprometer a produtividade e a eficiência da obra, tornar o produto mais flexível e customizado a partir das necessidades do cliente. Verificou-se, para análise deste princípio, se o produto pode ser customizado no tempo mais tarde possível, se o processo construtivo permite uma flexibilização do produto, layout e se as equipes de produção são polivalentes. A seguir, na Figura 22, é apresentado um pavimento sem escoras, para observar o quão flexível é o sistema.

Figura 22 - Estrutura de um pavimento



Fonte: Autor, 2021

Em reunião com o proprietário da construtora, este estudo de caso verificou-se que os apartamentos podem ser adaptados quanto ao layout até o momento do

levantamento da alvenaria de paredes internas. Como o empreendimento utiliza lajes protendidas para sua estrutura, permite-se uma grande flexibilidade para layout interno dos apartamentos, já que as paredes podem ser levantadas em qualquer lugar da laje.

Segundo o engenheiro da execução da obra, as equipes nesse primeiro momento estão divididas em armadores, carpintaria, equipe que cuida da disposição e protensão das cordoalhas, mestre de obras que coordena a equipe e serventes. Mas, a equipe alterna as atividades quando é necessário.

6.2.7 Aumentar a Transparência do Processo

As formas para aumentar a transparência do processo são muitas, para que se pudesse identificar este princípio fora verificado no canteiro de obras se ele está livre de divisórias, se há cartazes, sinalizações, demarcação das áreas dentre outros dispositivos visuais. Também foi analisado se são empregados indicadores de desempenho e por último se são implantados programas de melhoria na organização e limpeza, como o programa 5S.

Observou-se que o canteiro não possui divisórias que atrapalham os serviços, o canteiro de obras possui as tendas para refeitório, vestiário, armazenamento e mais alguns locais cobertos para desenvolver serviços necessários. Atualmente o térreo da edificação também está servindo para armazenamento de materiais. Na figura 23, consegue-se notar como está disposto o canteiro de obras.

Figura 23 - Canteiro de obras



Fonte: Autor, 2021

Observou-se também que no canteiro há as sinalizações de segurança necessárias para que os colaboradores estejam cientes dos riscos. A obra possui um único indicador de desempenho que se refere as atividades planejadas para um determinado prazo e concluídas dentro do prazo estabelecido. Quanto a programas de melhoria na organização e limpeza, como o programa 5S, a obra não possui nenhum semelhante. Nas Figuras 24, 25 e 26, observa-se algumas sinalizações que foram identificadas na obra.

Figura 24 - Sinalização para escada e EPI



Fonte: Autor, 2021

Figura 25 - Sinalização choque elétrico



Fonte: Autor, 2021

Figura 26 - Sinalização de segurança da entrada



Fonte: Autor, 2021

6.2.8 Concentrar o Controle no Processo Completo

Para este princípio, é proposto pela literatura que devem ser introduzidas melhorias nos processos, para somente depois serem estudadas melhorias nas operações. Um dos principais itens para se analisar este princípio é verificar se a empresa faz parceria com fornecedores, no sentido de reduzir as atividades que não agregam valor, para se ter no momento da entrega mais sensibilidade e para uma melhor qualidade do material fornecido.

Em reunião com o engenheiro gestor da obra, foi relatado que a empresa tem sim parceria com fornecedores, as compras são feitas diretas com o fornecedor para justamente garantir uma melhor qualidade e um melhor preço para os materiais, como a construtora compra praticamente sempre em grandes quantidades. Portanto para análise do princípio chega-se à conclusão de que a construtora tem a preocupação em realizar parcerias.

6.2.9 Construir Melhoria Contínua no Processo

Os processos têm de ser melhorados, de forma contínua, com a participação de todas as equipes responsáveis. A introdução dos procedimentos de ação preventiva e corretiva, possibilita a identificação dos problemas nos processos e também suas prováveis causas.

Para verificar esse princípio foram analisados os seguintes pontos: se existem evidências ou exemplos de bonificação e iniciativas de apoio a mão-de-obra; se existem procedimentos para monitorar as ações corretivas e a eliminação com ações preventivas; também em relação a gestão, se é participativa, onde são aceitas as sugestões dos funcionários.

Para a primeira questão, em reunião com o engenheiro gestor da obra afirmou que a empresa possui dois tipos de bonificação: para metas curtas e para metas longas. Exemplo de metas curtas: se a equipe consegue montar a laje até o dia combinado, são bonificados com uma refeição (churrasco). Exemplo para metas longas: se a equipe concluir a parte estrutural em 10 meses, como previsto em cronograma, terá bonificação em dinheiro. Pelo andamento da obra, percebe-se que a equipe muito provavelmente conseguirá bater a meta.

No segundo item verificado, foi relatado que o mestre de obras está presente na obra em todo o horário de serviço, quando convidado a contribuir com este estudo de caso afirmou que é sempre o primeiro a chegar e o último a sair, além de organizar a equipe e auxiliar em todos os serviços, garantindo a qualidade. Já o engenheiro responsável está diariamente na obra, acompanhando e verificando todas as etapas conforme projeto, para conseguir reduzir ao máximo o número de erros, sendo assim conclui-se que existem procedimentos para monitorar as ações corretivas e que estão presentes os responsáveis para realizar as ações preventivas.

Vale ressaltar, por último, a respeito da gestão o mestre de obras afirma que a equipe é compreensiva com as orientações por ele passadas e, também, todos os colaboradores tem uma boa abertura para sugestões e dúvidas. Durante a própria pesquisa para este estudo de caso foi notório que o clima e o ambiente de trabalho são favoráveis.

6.2.10 Equilibrar a Melhoria do Fluxo com a Melhoria da Conversão

Entende-se que as melhorias de fluxo e de conversão estão interligadas, para isso deve haver um equilíbrio entre ambas. Para este princípio será feita a verificação de alguns itens principais como, por exemplo, se são evidenciadas práticas de melhoria nos fluxos, como mapeamento do processo e se existe alguma estratégia de ataque à obra.

Para prática de melhoria nos fluxos foi relatado em reunião que quando se nota algum problema de execução das atividades ou até mesmo para otimizar o processo, tanto o mestre de obras como o engenheiro responsável conversam em particular com o colaborador ou fazem alguma reunião específica coletiva com toda equipe para melhorarem ou corrigirem o problema.

No que se refere às estratégias de ataque à obra, no momento a equipe está desenvolvendo a estrutura, então, a estratégia de ataque é mapeada conforme os ciclos da montagem da laje e também das outras etapas do pavimento como um todo.

6.2.11 Referenciais (Benchmarking)

Este princípio consiste em um processo de aprendizado, a partir da aquisição do conhecimento das boas práticas adotadas em outras empresas e trazer pra

realidade da empresa em questão. Para análise deste princípio utilizamos exemplos de *benchmarking*, como, por exemplo, inicialmente se a empresa conhece seus próprios processos, se é evidenciado o aprendizado, a partir de boas práticas adotadas em outras construtoras similares e o quanto a empresa se adapta às boas práticas encontradas na sua realidade.

Para o primeiro exemplo, foi comentado em reunião que a mão de obra já trabalha há alguns anos com a empresa, a construtora preza pelos serviços de qualidade e a equipe consegue assimilar bem as orientações e padronização dos processos. Não foram relatados maiores problemas com a equipe durante a jornada até o momento deste estudo de caso. Nota-se, também, que há uma boa relação com o engenheiro gestor que também é o proprietário da empresa.

Já para o segundo exemplo, foi revelado que a empresa antes de lançar o empreendimento imobiliário, realizou uma pesquisa com outras construtoras da cidade e notou-se a vantagem do método construtivo de lajes protendidas e o quanto de valor poderia estar agregando para o empreendimento, já que a população de Francisco Beltrão-PR está tendo uma boa aceitação e, ainda, foi dada uma grande importância para o projeto arquitetônico também por ter notado o sucesso de outros empreendimentos semelhantes. Pode-se afirmar que o empreendimento está sendo um sucesso.

Quanto o último item de análise, notou-se devido à escolha do método construtivo da estrutura do empreendimento, com a utilização de lajes protendidas, o quanto a construtora avançou e o quanto adaptada está a essa tecnologia. Na figura 27, observa-se a laje protendida sendo concretada.

Figura 27 – Laje protendida sendo concretada



Fonte: Autor, 2021

6.3 PROPOSTA DE LISTA DE VERIFICAÇÃO PARA DIAGNÓSTICO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

A lista de verificação para diagnóstico foi elaborada com base nos onze princípios da construção enxuta proposto por Koskela (1992) e foi adaptado também para este trabalho a lista de verificação elaborada pela Juliana Kurek (2005). Para cada princípio foram realizadas algumas perguntas, que envolvem atitudes, práticas e comportamentos, de modo que as aplicações evidenciam a utilização dos conceitos da construção enxuta.

Esse modelo de avaliação individual por princípio do *Lean Construction*, serve para identificar quais os princípios que estariam sendo contemplados e de que forma estão sendo aplicados nas práticas de produção de obras, para então gerar um indicador geral. Esta lista de verificação para diagnóstico dos princípios da construção enxuta está apresentada no Anexo A.

Para aplicar a lista de verificação, todas as perguntas separadas por princípios, devem ser assinaladas conforme sua aplicação SIM, NÃO ou NÃO SE APLICA. Neste último caso, onde o item não é aplicado, este não entrará para o cálculo da pontuação final.

Segue a equação para obtenção do indicador de pontuação, por princípio *Lean Construction* (IPi):

$$IPi = \left(\frac{PO}{PP} \right) \times 10 \quad (1)$$

Onde:

IPi = Indicador por Princípio

PO = Pontos Obtidos

PP = Pontos Possíveis

O indicador geral da construção enxuta é encontrado através da média ponderada dos pontos obtidos por indicador por princípio:

$$ICE = \frac{\sum IPi \times p}{\sum p} \quad (2)$$

O coeficiente de ponderação p é **0,909**. Considerando que são onze os princípios da construção enxuta propostos por Koskela (1992), $(10/11 = 0,909)$.

Neste formato de pontuação por princípio, consegue-se uma avaliação individual da situação de cada um, indicando aqueles que podem ser mais trabalhados para se ter um melhor resultado. (KUREK, 2005)

6.3.1 O Desenvolvimento da Lista de Verificação para Diagnóstico dos Princípios da Construção Enxuta

A seguir são apresentados os itens que fazem referência a cada princípio para verificação:

1- Reduzir a participação de atividades que não agregam valor – para introduzir este princípio, é necessário explicitar as atividades de fluxo, para que estas, se possível sejam eliminadas. Para evidenciá-las são apresentadas as seguintes questões:

1.1 A obra, possui um arranjo físico, para armazenamento de materiais, visando minimizar a distância entre locais de descarga e os respectivos locais de utilização?

1.2 Existem evidências de atividades de movimentação, inspeção e espera (utilização de algum dispositivo de melhoria do fluxo do processo, planejamento e controle)?

2- Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades do cliente; (agregue valor ao produto final sob a visão do que o cliente necessita) – A aplicação destes princípios envolve a identificação sistemática dos clientes e seus requisitos, sejam eles internos ou externos. As questões para estes princípios são:

2.1 Os processos são mapeados?

2.2 Existe alguma forma sistemática para obter os requisitos do cliente (pesquisa de mercado e avaliações pós-ocupação)?

2.3 Existe retroalimentação com projetistas, como exemplo, reuniões onde são debatidos os requisitos dos clientes?

2.4 Existe planejamento das tarefas, a fim de garantir os requisitos dos clientes internos na sequência das atividades?

3- Reduzir variabilidade – no contexto da construção civil, a incerteza e a variabilidade são elevadas, em função de peculiaridades na fabricação do produto, mas podem ser minimizadas. As questões para estes princípios são:

3.1 Existem procedimentos padronizados para execução das tarefas?

3.2 Existem procedimentos padronizados para recebimento dos materiais?

3.3 Existe controle da variabilidade/qualidade na execução das tarefas?

3.4 Existe planejamento e controle da produção/produktividade?

4- Reduzir o tempo de ciclo – a redução de tempos de ciclo envolve um amplo conjunto de ações e o objetivo deve ser reduzir a soma de todos os tempos de gastos, para produzir um determinado produto (transporte, espera, processamento e inspeção). Os itens de verificação para este princípio são:

4.1 Existem boas condições de trabalho, com segurança e equipamentos adequados aos operários?

4.2 Existe uma divisão dos ciclos de produção (como pacotes de trabalho, conclusão de uma metragem especificada, conclusão por pavimento)?

4.3 Existe alguma evidência de eliminação de atividades de fluxo, que fazem parte de um ciclo de produção?

5- Simplificar, minimizando o número de etapas, peças e ligações – quanto maior o número de componentes ou passos num processo, maior tende a ser o número de atividades que não agregam valor. Para evidenciar este princípio deve ser verificado:

5.1 É evidenciado a utilização de elementos pré-fabricados, kits ou máquinas polivalentes no processo de produção?

5.2 Existe uma constante avaliação do processo, buscando a melhoria (reuniões, discussões para identificação de simplificação das operações)?

6- Aumentar a flexibilidade de produção – esta estratégia permite aumentar a flexibilidade do produto, dentro de determinados limites, sem comprometer, substancialmente, a eficiência do sistema de produção. E a verificação pode ser através dos itens:

6.1 O produto é customizado no tempo mais tarde possível?

6.2 O processo construtivo permite a flexibilização do produto, rapidamente, sem grande ônus para a produção (como utilização de divisórias de gesso acartonado ou lajes planas/protendidas)?

6.3 As equipes de produção são polivalentes?

7- Aumentar a transparência do processo – inúmeras são as formas que existem para aumentar a transparência de processo. E algumas podem ser:

7.1 O canteiro de obras está livre de obstáculos visuais, como divisórias?

7.2 No canteiro são utilizados dispositivos visuais, como cartazes, sinalização e demarcação de áreas?

7.3 São empregados indicadores de desempenho, que tornam visíveis atributos do processo?

7.4 São empregados programas de melhoria na organização e limpeza, como o programa 5S?

8- Concentrar o controle no processo completo – para este princípio a literatura propõe que, primeiro, devem ser introduzidas melhorias nos processos, para depois serem estudadas melhorias nas operações. Alguns exemplos podem ser:

8.1 A empresa faz parceria com fornecedores, no sentido de reduzir atividade que não agregam valor, no momento da entrega e qualidade do material?

9- Construir melhoria contínua no processo – na aplicação deste princípio, os processos devem ser melhorados, continuamente, com a participação das equipes responsáveis. E os itens são:

9.1 Existem evidências, exemplos de dignificação (bonificação) e iniciativas de apoio à mão-de-obra?

9.2 Existem procedimentos para monitorar as ações corretivas (as causas reais) e a eliminação com ações preventivas?

9.3 A gestão é participativa, são aceitas sugestões de funcionários?

10- Equilibrar a melhoria do fluxo com a melhoria da conversão – as melhorias nos fluxos e nas conversões estão intimamente relacionadas, mas é necessário que exista um equilíbrio entre ambas. Na aplicação podem ser verificadas os itens:

10.1 São evidenciadas práticas de melhorias nos fluxos, tal como mapeamento do processo?

10.2 Existe uma estratégia de ataque à obra?

11- Referenciais (benchmarking) – Consiste em um processo de aprendizado, a partir das boas práticas adotadas em outras empresas. São exemplos de exemplos de benchmarking:

11.1 A empresa conhece seus próprios processos (estão descritos e entendidos)?

11.2 É evidenciado o aprendizado, a partir de práticas adotadas em outras empresas similares?

11.3 Adapta as boas práticas encontradas à sua realidade? (KUREK, 2005).

6.4 PONTUAÇÃO E ANÁLISE DA PRODUTIVIDADE DA LAJE PROTENDIDA COM BASE NOS 11 PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

A pontuação é obtida por princípio e por fim há um indicador geral da construção enxuta de acordo com o *check list* de pesquisa para diagnóstico. O indicador ICE numa escala de 0 a 10, ficou em 9,47.

A obra segue seus cronogramas e prazos que foram estabelecidos pelo proprietário no início. E está bem avaliada conforme o diagnóstico dos princípios, visto pelos resultados obtidos acima.

Com a pesquisa realizada e em conversas com o engenheiro responsável pela gestão da obra, chega-se numa análise para aumento de produtividade, em que, adquirindo mais um jogo de: escoras metálicas, caixaria e travamento dos elementos, o tempo de execução da estrutura poderia ser reduzido, reduzindo o tempo de ciclo de cada laje. Abaixo, no quadro 3, as atividades para execução de um pavimento são descritas:

Quadros 3- Ciclo de Atividades para Execução de um Pavimento

Ciclo de Atividades para execução de um pavimento
Conferência do eixo, armadura e caixaria dos pilares
Travamento e concretagem dos pilares
Montagem do escoramento da laje
Montagem e travamento da caixaria das vigas, laje e escada
Armadura das vigas, laje e escada
Montagem da protensão
Concretagem

Fonte: Autor, 2021

Para que se possa entender a afirmação acima, começa-se a explicação pelo cenário que foi encontrado na obra, em que há apenas um jogo de escoras metálicas, caixaria e travamento dos elementos. Assim, após a concretagem da laje, deve-se esperar 5 dias para realizar a protensão, devido ao tempo necessário para o concreto atingir a resistência de projeto, para que então, seja feita a retirada das escoras e caixaria dos elementos que estavam sendo ocupados pela laje que foi concretada, e transportados para a laje seguinte, para o ciclo se reiniciar. Então, nesse tempo de 5 dias, a equipe fica ociosa ou realizando outras atividades que não seriam importantes para a máxima eficiência do cronograma.

Considerando que se têm à disposição o segundo jogo, o ciclo se reiniciaria de imediato, porque não precisaria aguardar esses 5 dias após a concretagem, para realizar a protensão e assim retirar as escoras metálicas e os demais elementos. Seria utilizado o segundo jogo, e esse jogo que está sendo utilizado, permaneceria lá até o tempo necessário. E o cronograma de atividades da obra, seguiria sem pausas ou sem que a equipe seja realocada das suas respectivas funções.

Com esses dois jogos de escoras metálicas, fôrmas e travamento dos elementos, cada jogo é utilizado alternadamente, e assim se têm a máxima eficiência e efetividade desse método construtivo, de laje protendida. Como neste trabalho não foi levado em consideração os custos, somente a aceleração do método construtivo, os gestores de obras prediais, devem sempre realizar a viabilidade econômica, considerando a quantidade de lajes do edifício e fazendo a relação de diminuição de tempo de construção com o valor adicional investido para a locação de um segundo jogo de escoras metálicas, caixaria e travamento dos elementos estruturais. Amparando, assim, ainda mais a tomada de decisão.

7 CONCLUSÃO

Nesse trabalho realizou-se uma avaliação de diagnóstico dos princípios da construção enxuta aplicados às lajes protendidas na cidade de Francisco Beltrão-PR. No que tange aos aspectos da construção enxuta relacionados às lajes protendidas, foi analisado e comparado o sistema adotado pela construtora com um cronograma ideal, sem que a equipe perdesse produtividade e alternasse as funções dos trabalhadores.

Sendo o prazo de entrega das obras de vital importância para a viabilidade econômica e comercial do edifício, este ponto foi explorado neste estudo de caso. Buscou-se possíveis pontos de melhoria no caso em questão, a fim de contribuir com a eficiência desta e de outras obras que utilizam protensão. Pontos relevantes para a agilidade na execução foram observados, como a qualidade e experiência da mão de obra, bem como os relacionamentos interpessoais da equipe envolvida.

Entretanto, o ponto de maior relevância encontrado foi a adoção de mais um jogo de escoras metálicas, um jogo de fôrmas de pilares e vigas e um jogo de travamento de pilares e vigas. Isso porque esta mudança leva a uma variação positiva no rendimento das equipes, pois não há tempo de espera para a protensão para a retirada das escoras metálicas da laje inferior.

Verificou-se que a lajes protendida, juntamente com a estrutura, podem ser executadas com até 25% mais rapidez do que foi no empreendimento em questão, se a construtora possuísse mais um jogo de escoras metálicas e fôrmas de pilares e vigas, o processo aceleraria de 20 dias para 15 dias por laje.

Destarte, provou-se possível otimizar os processos ao aplicar as técnicas do *Lean Construction*, trazendo discussões pertinentes e soluções práticas. Contudo, recomenda-se uma continuação desse estudo, direcionando a pesquisa para viabilidade econômica, analisando as diferenças de custos entre o sistema construtivo de laje protendida com um jogo de escoras metálicas, caixaria e travamento dos elementos, e dois jogos, considerando economias relacionadas à antecipação da conclusão da obra. Amparando, assim, ainda mais a tomada de decisão dos gestores de edificações prediais que adotarem as medidas apresentadas neste estudo de caso.

8 REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, Rio de Janeiro, 2015.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto armado – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ANJOS, M, S; OLIVEIRA, M, R. **Implantação do programa 5S em um canteiro de obras: um estudo de caso em Itabuna (BA)**. Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS, v.5, p: 136-155, Itabuna, 2018.

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia científica**. [s. l.], 2015. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000008833&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 01 out. 2020.

CASTRO, S, V. **Concreto Protendido – Vantagens e desvantagens dos diferentes processos de protensão do concreto nas estruturas**. Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

CHAMORRO, C, A, V. **Abordagem da filosofia de produção just in time**. 135 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.

CLÍMACO, J. C. T. S. Estruturas de Concreto armado. 1. ed. Rio de Janeiro: Clímaco, 2016.

DIEKMANN, J. E.; KREWEDL, M.; BALONICK, J.; STEWART, T.; WON, S. **Application of lean manufacturing principles to construction**. Austin, TX: The University of Texas at Austin, 2004.

EMERICK, A. A. **Projeto e execução de lajes protendidas**. 1. ed. Brasília: Emerick, 2002.

FELLOWS, Richard F; LIU, Anita MM. **Research methods for construction**. Chichester, Reino Unido: John Wiley & Sons, 2015.

GAO, S.; LOW, P. L. **Lean Construction Management**. 1. ed. Singapore: Gao; Low, 2014.

GONZATTI, L. G.; MADUREIRA, E. M. P. Lajes alveolares protendidas de concreto versus lajes convencionais: viabilidade econômica. **5º Simpósio de sustentabilidade e contemporaneidade nas ciências sociais**, Curitiba (PR), p. 5-10, jun. 2017.

DIAS GRAÇA, A. J. **Análise do sistema just in time em empresa pública prestadora de serviço: estudo de caso no shopping do cidadão de São Luís**. 145 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

GONZALEZ, Edinaldo Favareto. **Aplicando 5s na construção civil**. 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2017.

GREEN, S. D.; MAY, S. C. **Lean construction: Arenas of enactment, models of diffusion and the meaning of “leanness”**, 2005.

JOHANSEN, E.; WALTER, L. **Lean construction: Prospects for the German construction industry**. *Lean Construction Journal*, 3 (1). p. 19-32, 2007.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Technical report No. 72. Stanford University: Koskela, 1992.

KOSKELA, L. **Lean Construction core concepts and new frontiers**. 1. ed. New York: Koskela, 2020.

LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. [s. l.], 2017. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsmib&AN=edsmib.000011052&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>. Acesso em: 01 out. 2020.

LOUREIRO, G. J. Projeto de lajes protendidas com cordoalhas engraxadas. **VI Simpósio EPUSP**, Fortaleza (CE), p. 3-15, abr. 2006.

MARCONI, Mariana de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da metodologia científica**, São Paulo: Atlas S.A., 2003.

PERETTI, L. C.; FARIA, A. C.; SANTOS, I. C. Aplicação dos princípios da construção enxuta em construtoras verticais: estudo de caso múltiplos na região metropolitana de São Paulo **XXXVII Encontro da ANPAD**, Rio de Janeiro (RJ), p. 1-5, set. 2013.

SANTOS, V, G, V. **A filosofia do just in time como otimização do método de produção**. p. 2-12, Aracruz (ES), 2014.

SCHMID, M. T. **Lajes planas protendidas**. 3. ed. São Paulo: Schmid, 2009.

SILVA, E, N. **Sinergia BIM – Lean Construction: Mudanças e Desafios para a Gestão de Empreendimentos**. Revista gestão e gerenciamento nº 5, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2017.

VIVIAN, A. L.; PALIARI, J. C.; NOVAES, C. C. Vantagem produtiva do sistema light steel framing: da construção enxuta à racionalização construtiva. **ENTAC**, Canela (RS), p. 1-6, out. 2010.

KUREK, J. **Introdução dos princípios da filosofia de construção enxuta no processo de produção em uma construtora em Passo Fundo - RS**. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXO A – Lista de verificação para diagnóstico dos princípios da construção enxuta

ITENS DE VERIFICAÇÃO	SIM	NÃO	NÃO SE APLICA
1) Reduzir a participação de atividades que não agreguem valor			
1.1) A obra, possui um arranjo físico, para armazenamento de materiais, visando minimizar a distância entre locais de descarga e os respectivos locais de utilização?	x		
1.2) Existem evidências de atividades de movimentação, inspeção e espera (utilização de algum dispositivo de melhoria do fluxo do processo, planejamento e controle)?	x		
IP1 = (PO/PP) x 10 = 10			
2) Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades do cliente			
2.1) Os processos são mapeados?	x		
2.2) Existe alguma forma sistemática para obter os requisitos do cliente (pesquisa de mercado e avaliações pós-ocupação)?	x		
2.3) Existe retroalimentação com projetistas, como exemplo, reuniões onde são debatidos os requisitos dos clientes?	x		
2.4) Existe planejamento das tarefas, a fim de garantir os requisitos dos clientes internos na sequência das atividades?	x		
IP2 = (PO/PP) x 10 = 10			
3) Reduzir variabilidade			
3.1) Existem procedimentos padronizados para execução das tarefas?	x		
3.2) Existem procedimentos padronizados para recebimento dos materiais?	x		
3.3) Existe controle da variabilidade/qualidade na execução das tarefas?	x		
3.4) Existe planejamento e controle da produção/produtividade?	x		
IP3 = (PO/PP) x 10 = 10			
4) Reduzir o tempo de ciclo			
4.1) Existem boas condições de trabalho, com segurança e equipamentos adequados aos operários?	x		
4.2) Existe uma divisão dos ciclos de produção (como pacotes de trabalho, conclusão de uma metragem especificada, conclusão por pavimento)?	x		
4.3) Existe alguma evidência de eliminação de atividades de fluxo, que fazem parte de um ciclo de produção?		x	
IP4 = (PO/PP) x 10 = 6,67			
5) Simplificar, minimizando o número de etapas, peças e ligações			
5.1) É evidenciado a utilização de elementos pré-fabricados, kits ou máquinas polivalentes no processo de produção?	x		
5.2) Existe uma constante avaliação do processo, buscando a melhoria (reuniões, discussões para identificação de simplificação das operações)?	x		

IP5 = (PO/PP) x 10 = 10			
6) Aumentar a flexibilidade de produção			
6.1) O produto é customizado no tempo mais tarde possível?	x		
6.2) O processo construtivo permite a flexibilização do produto, rapidamente, sem grande ônus para a produção (como utilização de divisórias de gesso acartonado ou lajes planas/protendidas)?	x		
6.3 As equipes de produção são polivalentes?	x		
IP6 = (PO/PP) x 10 = 10			
7) Aumentar a transparência do processo			
7.1) O canteiro de obras está livre de obstáculos visuais, como divisórias?	x		
7.2) No canteiro são utilizados dispositivos visuais, como cartazes, sinalização e demarcação de áreas?	x		
7.3 São empregados indicadores de desempenho, que tornam visíveis atributos do processo?	x		
7.4 São empregados programas de melhoria na organização e limpeza, como o programa 5S?		x	
IP7 = (PO/PP) x 10 = 7,5			
8) Concentrar o controle no processo completo			
8.1 A empresa faz parceria com fornecedores, no sentido de reduzir atividade que não agregam valor, no momento da entrega e qualidade do material?	x		
IP8 = (PO/PP) x 10 = 10			
9) Construir melhoria contínua no processo			
9.1 Existem evidências, exemplos de dignificação (bonificação) e iniciativas de apoio à mão-de-obra?	x		
9.2 Existem procedimentos para monitorar as ações corretivas (as causas reais) e a eliminação com ações preventivas?	x		
9.3 A gestão é participativa, são aceitas sugestões de funcionários?	x		
IP9 = (PO/PP) x 10 = 10			
10) Equilibrar a melhoria do fluxo com a melhoria da conversão			
10.1) São evidenciadas práticas de melhorias nos fluxos, tal como mapeamento do processo?	x		
10.2 Existe uma estratégia de ataque à obra?	x		
IP10 = (PO/PP) x 10 = 10			
11) Referencias (benchmarking)			
11.1) A empresa conhece seus próprios processos (estão descritos e entendidos)?	x		
11.2) É evidenciado o aprendizado, a partir de práticas adotadas em outras empresas similares?	x		
11.3) Adapta as boas práticas encontradas à sua realidade?	x		
IP11 = (PO/PP) x 10 = 10			