



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

WANDER MATEUS FEITOSA GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS FERRAMENTAS *LEAN PRODUCTION*: ESTUDO
DE CASO EM UMA EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR**

MOSSORÓ-RN

2017

WANDER MATEUS FEITOSA GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS FERRAMENTAS *LEAN PRODUCTION*: ESTUDO
DE CASO EM UMA EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Centro de Engenharias, para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Almir Mariano de Sousa
Junior - UFERSA

MOSSORÓ-RN
2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G633a Gomes, Wander Mateus Feitosa.
Análise comparativa das ferramentas lean
production: estudo de caso em uma empresa de pré-
fabricados no semiárido potiguar / Wander Mateus
Feitosa Gomes. - 2017.
58 f. : il.

Orientador: Almir Mariano de Sousa Junior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2017.

1. Industrialização. 2. Construção civil. 3. Pré-
fabricados. 4. Lean Production. I. Junior, Almir
Mariano de Sousa, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

WANDER MATEUS FEITOSA GOMES

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS FERRAMENTAS *LEAN PRODUCTION*: ESTUDO
DE CASO EM UMA EMPRESA DE PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 20 / 10 / 2 017.

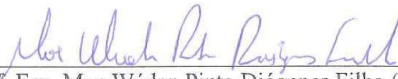
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Almir Mariano de Sousa Junior (UFERSA)
Presidente



Prof. Ms. Adriano David Monteiro de Barros (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Esp. Max Wéden Pinto Diógenes Filho (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Senhor Deus, por estar sempre ao meu lado em todos os meus passos, e por ter sempre me abençoado, me proporcionando forças, saúde e paz necessárias para que pudesse sempre ir em busca de minhas conquistas.

Agradeço aos meus pais, Aldeci Gomes da Costa Junior e Raimunda Vanda Feitosa Gomes, que souberem ser sempre exemplo de integridade, e que, com muito amor e carinho, me deram todo o apoio necessário para que pudesse lutar pelos meus objetivos, construindo uma base familiar sólida para mim e para meus irmãos, tornando-nos pessoas de caráter acima de tudo.

Agradeço aos meus irmãos, Junivan Feitosa Gomes e Waléria Ronina Feitosa Gomes, pelos momentos de companheirismo, amizade e pelos tantos ensinamentos que sempre me proporcionaram.

Agradeço a todos os demais familiares, por toda a força que já me fora transmitida por meio de gestos, palavras ou orações.

Agradeço à minha namorada, pelo apoio diário em todos os momentos em que precisei.

Agradeço a todos os meus amigos, pessoas especiais com quem tenho a honra de compartilhar momentos únicos, evitando citar nomes para não ser injusto de esquecer alguns, tendo em vista a igual importância de todos.

Agradeço aos meus colegas de curso e a todos os colaboradores que compõem a Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Agradeço a todos os meus professores, pelos ensinamentos transmitidos e, mais do que isso, por terem me ajudado em minha formação acadêmica e pessoal.

Agradeço, especialmente, ao meu orientador, Prof. Dr. Almir Mariano de Sousa Junior, pela oportunidade de compartilhar ensinamentos, auxiliando de forma direta na construção deste trabalho, bem como pela paciência que teve ao longo desse processo. Muito obrigado.

RESUMO

O Brasil é um país de imenso potencial de desenvolvimento, e a industrialização da construção é fundamental para que se alcance essa evolução, uma vez que está diretamente ligada com os conceitos de qualidade e produtividade. Sobretudo em períodos de instabilidade econômica, como o que o país atravessa, destaca-se a importância da construção civil como alternativa para guinar o crescimento da nação, tendo em vista sua capacidade de ativar a economia, gerando investimentos e expandindo a geração de emprego e renda da população. Portanto, a otimização dos processos nas indústrias é de suma importância, principalmente quando estas são voltadas para a construção civil, a julgar pelo alto índice de desperdícios gerados neste setor. Sendo assim, objetivou-se verificar os pontos que mais necessitam de melhorias no processo produtivo de uma empresa fabricante de peças de concreto pré-moldado e propor soluções, embasado pelo referencial teórico do Sistema Toyota de Produção, para que a pré-moldagem se torne uma pré-fabricação, de modo que a empresa poderá, com este ganho em produtividade, aumentar sua competitividade no mercado e produzir cada vez mais utilizando cada vez menos recursos. Neste trabalho realizou-se um estudo de caso em uma indústria de pré-fabricados de concreto visando tornar o processo da mesma mais enxuto e eficiente. Foi possível perceber que a produção da empresa praticamente dobrou quando os seus processos avançaram e foram atualizados com máquinas, equipamentos e novos métodos implementados por ela. Remanejamento de funcionários ociosos e aumento na qualidade final dos produtos foram outros benefícios. Sendo assim, o sistema de pré-moldados pode ser uma alternativa muito atraente para se construir de maneira mais econômica, segura, eficiente e durável, desde que os seus processos sejam “enxugados” e atualizados continuamente, de modo a verificar a real importância de todas as etapas do processo, a funcionalidade do mapa de fluxo de valor com que este se desenvolve e as perdas geradas ao longo deste processo, visando, com auxílio de métodos consagrados, torná-lo o mais eficiente possível.

Palavras-chave: Industrialização. Construção civil. Pré-fabricados. *Lean Production*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Produção enxuta segundo Womack e Jones.....	34
Tabela 2	–	Conceitos do Lean Construction segundo Koskela.....	35
Tabela 3	–	Comparação entre teoria e realidade prática	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Armadura da laje pré-fabricada treliçada e seção transversal	20
Figura 2	–	Etapas da produção de elementos pré-fabricados	20
Figura 3	–	Etapas da concretagem para produção de elementos pré-fabricados	20
Figura 4	–	Fluxograma global dos processos de fabricação de pré-fabricados.....	21
Figura 5	–	Etapas industriais dos pré-fabricados	21
Figura 6	–	Modelo de estufa utilizado para cura de blocos pré-moldados	23
Figura 7	–	Casa STP	31
Figura 8	–	Mapofluxograma da unidade produtiva de pré-fabricados	45
Figura 9	–	Fluxograma de postes e galpões	46
Figura10	–	Fluxograma dos blocos	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Redução de funcionários devido à modernização	50
Gráfico 2	–	Aumento de produtividade devido à modernização	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CPCI	Confederação Portuguesa da Construção e do Imobiliário
FIBRA	Federação das Indústrias do Distrito Federal
IES	Instituição de Ensino Superior
PIB	Produto Interno Bruto
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
STP	Sistema Toyota de Produção

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	14
3.1.1 Caracterização de atividades	20
3.2 PLANEJAMENTO E INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	24
3.3 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO E O LEAN THINKING.....	25
3.3.1 Pensadores da filosofia lean	34
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE PRODUTIVA	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1 UNIDADE PRODUTIVA E MAPOFLUXOGRAMA	44
5.2 PRODUÇÃO DE POSTES E GALPÕES COM FLUXOGRAMA E FALHAS	46
5.3 PRODUÇÃO DE PEÇAS DIVERSAS E BLOCOS COM FLUXOGRAMA	47
5.4 ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE UM MODO GERAL	49
5.5 CONFORMIDADE DOS PROCESSOS COM OS PENSADORES	51
5.6 MELHORIAS A SEREM IMPLEMENTADAS	52
6 CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

A importância da construção civil na economia brasileira e mundial é de conhecimento geral, sendo um setor que sofre muito em épocas de crise, mas também, grande responsável pela retomada do crescimento devido à alta geração de empregos e redução do déficit habitacional. Segundo Diones Cerqueira (2017), economista-chefe da Federação das Indústrias do Distrito Federal (FIBRA), este setor é responsável por 176 mil estabelecimentos (empresas e filiais) do país, correspondendo a 34% do total da indústria nacional. Representando em valores, engloba 6,2% do PIB do país, não contando ainda os vários setores beneficiados indiretamente pela geração de empregos e serviços advindos deste. Em termos de emprego, é responsável por gerar 2,6 bilhões de vagas ocupadas, 24% do total. Por ser uma área tão atrativa, a concorrência é sempre crescente para as empresas, que devem tornar suas produções flexíveis, buscando continuamente o aumento da sua eficiência.

É fundamental, portanto, reduzir sistematicamente as atividades do processo produtivo que não agreguem valor ao produto, além de buscar eliminar as perdas. Atualmente, é cada vez mais comum a opção pelas estruturas pré-fabricadas frente às moldadas *in loco*, já que a primeira proporciona ganho em produtividade, queimando várias etapas secundárias, maior durabilidade, melhor desempenho estrutural, um controle de qualidade das estruturas mais eficiente e melhor otimização no uso dos materiais, sendo uma prática mais sustentável. A industrialização da construção civil passa pela adoção de práticas onde o controle possa ser empregado efetivamente, e a utilização de elementos de concreto pré-fabricado é exemplo disto.

A racionalização e redução de desperdícios se torna ainda mais eficiente quando a essas empresas é aplicada uma metodologia visando “enxugar” os processos. A escolha pela implantação do *Lean Production* (ou Produção Enxuta) se torna fundamental para enfrentar os desafios de mercado, por reduzir tempo de ciclo, perdas (e, consequentemente, os custos), melhorar o fluxo de materiais, aumentar o controle no processo, diminuir as variações etc. Diferente da indústria automobilística, onde esse conceito fora formado por Taiichi Ohno, engenheiro chefe da Toyota Motor Company, diretor e vice-presidente da empresa entre 1943 e 1978, na construção civil temos como produto final uma variedade significativa de edificações, o que dificulta bastante o controle e padronização do processo produtivo. Ainda assim, esta é uma tarefa possível, mesmo que em um ritmo inferior a outras áreas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar, através de estudo de caso, os processos desenvolvidos pela empresa em questão, e compará-los com o que prega a metodologia de produção enxuta, de modo a propor soluções para reduzir os desperdícios e trazer melhorias a um processo de produção de peças pré-moldadas de concreto com as ferramentas do STP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear o sistema de produção através de fluxograma, visando identificar pontos onde seja possível reduzir perdas e eliminar etapas desnecessárias;
- Analisar o impacto do Sistema Toyota de Produção na melhoria da produtividade, bem como na racionalização dos processos técnicos e gerenciais da empresa;
- Expor as principais contribuições atribuídas do tema estudado e comparar com o processo desenvolvido pela empresa;
- Proporcionar, através do estudo de caso, uma vivência da realidade, de modo a discutir, analisar e buscar a solução de um problema extraído da realidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será feita a apresentação de uma revisão bibliográfica sobre as características da indústria de pré-moldados de concreto, a importância da aplicação de ferramentas de gestão que visem industrializar cada vez mais o setor da construção civil no Brasil, o Sistema Toyota de Produção (STP) e a aplicação de suas ferramentas *Lean* com objetivo de embasar o método a ser proposto e posteriormente implantado.

3.1 ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

A ABNT NBR 9062 (2006) – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado define estrutura pré-fabricada como elemento pré-moldado executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade, ou em instalações permanentes de empresa destinada para este fim que conte com mão-de-obra qualificada, organização de laboratório e todas as instalações permanentes necessárias ao controle de qualidade. A matéria-prima dos elementos pré-fabricados deve ser ensaiada e testada quando no recebimento pela empresa e previamente à sua utilização (NBR 9062, 2006).

A junção de elementos pré-moldados com concreto moldado em um local é uma aplicação muito comum da pré-moldagem. Este tipo de associação, que pode ser denominado como peça composta, tem sido um sucesso na utilização em construções de pontes, alvenaria e pavimentos de edifícios, pois apresentam inúmeras vantagens em relação à construção em concreto moldado no local ou em elementos pré-moldados. (EL DEBS, 2000).

Ainda segundo El Debs (2000), citado por Kato (2012, p. 3260),

“Os elementos pré-moldados são amplamente utilizados no setor da construção civil por serem produzidos em série, ter rápida execução, reduzir desperdícios, ter a facilidade de controlar a qualidade do produto, reduzir ou eliminar o cimbramento, ter facilidade na implantação dos programas de segurança no trabalho”.

Tais elementos representam uma opção válida para racionalizar o processo de produção. Essas peças apresentam algumas características significativas, são elas: rapidez de execução, controle de qualidade, projetos de modulação e relativo nível organizacional de produção (PEDERIVA, 2009).

Dentre as principais vantagens recebidas pelo setor da construção civil provenientes da industrialização pela pré-fabricação de peças de concreto, podemos citar: economia, eficiência, desempenho técnico, condições favoráveis de trabalho e de sustentabilidade. Os pré-fabricados em concreto proporcionam também uma redução na entrega das obras, melhor qualidade no produto final, racionalização da obra, maior produtividade e segurança na obra.

Segundo Ferreira (2003), o conceito de sistemas flexibilizados na produção vai além da fábrica, com a possibilidade da produção de componentes no canteiro, dentro de um sistema com alto grau de controle da qualidade e de organização da produção.

O próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-fabricação de elementos, fora do local de seu uso (VASCONCELLOS, 2002 apud KRÜGER, 2014, p. 2).

A indústria da construção civil evolui constantemente, em fases sucessivas, sendo cada uma caracterizada por uma diversidade de métodos, tecnologias e arquiteturas próprias. Atualmente, é incessante a busca por otimização dos processos, reduzindo perdas sem que haja perda de desempenho e qualidade. Para isto, são encontrados modernos sistemas construtivos e processos de gestão industrial. Entre estes sistemas, destacam-se os pré-fabricados em concreto armado.

Para Campos (2006), a industrialização progressiva do pré-fabricado no Brasil, vem vivenciando uma série de transformação, visando atender as exigências do mercado atual, promovendo qualificação no processo construtivo. Atendendo a demanda de projetos com racionalidade, estética, eficácia e otimizando desta forma, a pré-fabricação no país.

A construção enxuta, filosofia de Koskela, afirma que a construção deve ser considerada como um fluxo, sendo composta por dois processos principais: projeto e construção. O processo de construção é composto pelo fluxo de materiais e pelo fluxo de trabalho. Os processos são caracterizados pelo custo, duração e valor para o cliente (desempenho e conformidade com a especificação) (KOSKELA, 1992).

Tendo em vista que as peças pré-moldadas de concreto simplificam os projetos, aceleram os fluxos de materiais e de trabalho, otimizam os tempos e reduzem as perdas, e, consequentemente, os custos na obra, a utilização destas é imprescindível quando se almejar uma construção mais enxuta.

O marco do início da produção industrial de peças pré-fabricadas de concreto no Mundo foi o fim da segunda guerra mundial, onde a Europa se via devastada e com necessidade de rápida reconstrução, sobretudo de hospitais, escolas, edifícios, pontes etc. De acordo com El

Debs (2000), com a falta de recursos, a racionalização dos componentes levou à modalidade, tornando-se a forma mais viável e mais difundida para se promover a industrialização da construção.

Para Vasconcelos (2002), citado por Senden (2015, p. 4),

“A primeira notícia que se tem de uma obra grande com utilização de elementos pré-moldados no Brasil, refere-se à execução do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro. Christiani-Nielsen, incorporadora dinamarquesa com sede no Brasil, executou em 1926 a obra completa do hipódromo, com diversas aplicações de elementos pré-moldados. Dentre eles, podem-se citar as estacas nas fundações e as cercas no perímetro da área reservada ao hipódromo. Foram utilizadas 218 estacas pré-fabricadas de concreto armado na região da Tribuna dos Sócios para superar as dificuldades apresentadas pelo solo ruim do local, totalizando cerca de 8 km de comprimento em estacas. Essas estacas foram produzidas no próprio canteiro, utilizando cimento Portland dinamarquês de endurecimento rápido.”.

Conforme relata Campos (2006), apesar desse caso isolado, incorporado pela empresa dinamarquesa, no Brasil foi apenas na década de sessenta (1960) que as construções com peças pré-fabricadas de concreto surgiram de fato, embora a popularização deste sistema só tenha ocorrido por volta de 1980, com as obras industriais.

Oliveira (2002) em seus estudos, diz que houveram algumas experiências mal sucedidas com esse tipo de estrutura no começo dos anos 80 no Brasil devido ao pouco conhecimento da mão-de-obra com a execução das mesmas, que levaram, até mesmo, a vários casos de demolições de prédios devido a patologias que geravam alto custo de manutenção, e fizeram com que os pré-fabricados fossem deixados de lado no restante da mesma década no país. Seu retorno foi nos anos 90, devido, principalmente, à grande ascensão da cidade de São Paulo, que passara a receber ainda mais investimentos na área de serviços.

Segundo Iglesia (2006), os elementos estruturais em concreto, pela rapidez em sua fabricação e a alta facilidade, tornou-se uma ferramenta cada vez mais utilizada em edifícios comerciais, galpões, indústrias e construções em residências tanto no Brasil como no mundo todo. Sua expansão só aumenta. Nos dias atuais, é bastante utilizado no Brasil para grandes estruturas onde se busca construir com qualidade e agilidade. Residências também costumam utilizá-los sobretudo em lajes nervuradas.

Em uma pesquisa produzida por Albuquerque (2005) e El Debs (2005) citada por

Senden (2015, p. 6),

“Realizou-se um levantamento dos sistemas estruturais pré-moldados utilizados no Brasil com participação de fabricantes e projetistas de estruturas e com utilização dos dados do banco de obras da Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC) chegou à conclusão que 70%, em média, das obras pré-moldadas não são originalmente concebidas para a utilização do sistema, mas sim, adaptadas de uma estrutura concebida para ser executada em concreto moldado in loco.”.

A grande quantidade de unidades idênticas produzidas causa uma economia de escala, reduzindo custos das construções. As maiores vantagens das estruturas pré-moldadas estão relacionadas ao controle tecnológico e a eficiência estrutural, que permitem elementos mais esbeltos e uso otimizado de materiais. Essas estruturas proporcionam maior agilidade da obra, economia dos materiais e mão de obra, bem como limpeza no canteiro. (SANTOS e PEREIRA, 2006 apud KRÜGER, 2014).

Desde as incorporações mais antigas chegando às atuais, nota-se que a construção civil evoluiu por fases, onde cada uma destas é caracterizada por uma diversidade de métodos, tecnologias e arquiteturas próprias. Na fase contemporânea, percebe-se uma significativa organização em alguns subsetores, onde são encontrados modernos sistemas construtivos e processos de gestão industrial. Entre estes sistemas, destacam-se os pré-fabricados em concreto armado. (SERRA, FERREIRA e PIGOZZO, 2005).

Os elementos pré-moldados são o meio mais prático e eficiente de industrializar a construção civil, que tanto sofre com processos arcaicos, que geram muitos desperdícios e produção com baixo controle tecnológico. Segundo El Debs (2000), a pré-moldagem de concreto corresponde ao emprego de elementos de concreto moldados fora de sua posição definitiva de utilização na construção.

Sendo assim, essa prática ganha cada dia mais importância diante de um mercado cada vez mais exigente com a qualidade final do produto e cada vez mais obsessiva por prazos, requerendo ganhos de produtividade. Tendo em vista que o uso de estruturas pré-moldadas possibilita otimizar o tempo de produção das peças, além de diminuir os custos e desperdícios, procurando também, a redução da mão de obra ociosa.

O pré-moldado na obra civil possibilitou uma maior rapidez no processo construtivo, além de um enorme salto de qualidade nos canteiros de obra, pois através desses componentes com alto controle ao longo de sua produção, com materiais de boa qualidade, fornecedores

selecionados e mão de obra treinada e qualificada, as obras tornaram-se mais organizadas e seguras. Na construção civil, podemos observar a ‘industrialização’ desse setor através do uso de peças de concreto pré-moldadas. (SERRA apud KRÜGER, 2014).

A utilização de peças de concreto pré-fabricadas permitiu um enorme salto de qualidade nos canteiros de obras do Brasil e do mundo, pois a construção pré-fabricada representa racionalização e aperfeiçoamento técnico das obras, visto que incorpora conceitos da linha de montagem das indústrias de bens de consumo, com grande controle ao longo da produção, com materiais de qualidade, fornecedores selecionados e mão-de-obra capacitada, o que gera obras mais organizadas e seguras, e edifícios com melhor qualidade construtiva. (SPADETO, 2011, p. 51).

A qualidade da construção pré-fabricada em concreto é assegurada por sua mão-de-obra especializada, sua matéria-prima selecionada, pelas instalações, equipamentos e processos operacionais na fábrica, e pelo controle de qualidade na execução. Estes fatores levam a um melhor acabamento e maior precisão geométrica, permitindo que estrutura apresente maior durabilidade e exija menos medidas de manutenção (ABCIC, 1986; CPCI, 2007; FEBE, 2009 apud SPADETO, 2011).

A construção pré-fabricada facilita a implementação de sistemas automatizados, pois proporciona a repetição de tarefas, e assim, possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, com maior controle de qualidade e uso de mão-de-obra especializada. Sistemas construtivos industrializados têm índices de desperdício de materiais próximos do zero, vez que são produzidos em ambientes onde o controle é mais rigoroso, vindo, apenas, a ser submetido ao processo de montagem no canteiro. (SPADETO, 2011, p. 57)

Em geral, esse sistema construtivo possui melhor desempenho estrutural e durabilidade que as construções moldadas no local, porque otimiza e potencializa o uso dos materiais. Tal se deve ao emprego de procedimentos de fabricação cuidadosamente elaborados e ao uso de equipamentos modernos, tais como equipamentos controlados por computador para o preparo. O lançamento, o adensamento e a cura são executados em locais fechados e sob condições controladas, fazendo com que a relação água/cimento seja reduzida ao mínimo possível (FEBE, 2009; CPCI, 2007 apud SPADETO, 2011).

De acordo com Tokudome (2005) apud Spadeto (2011, p. 59),

“Na Inglaterra, os pré-fabricados em concreto, em 2005, absorviam 82,5% da

construção de edifícios comerciais de até 3 pavimentos; já para construções maiores, o aço detinha 70% das construções. Para o mercado do Canadá, os pré-fabricados absorviam 49% do segmento industrial e comercial, 26% do residencial, 20% das obras de engenharia e 5% das institucionais. Nos Estados Unidos o uso de pré-fabricados é mais difundido em produtos para painéis de fachada, com cerca de 27,5% do mercado em edifícios de até 10 pavimentos. No tocante ao uso de estruturas pré-fabricadas em concreto, essa participação se situa entre 3,5% e 5%, graças à grande utilização de estruturas metálicas na construção civil do país.”

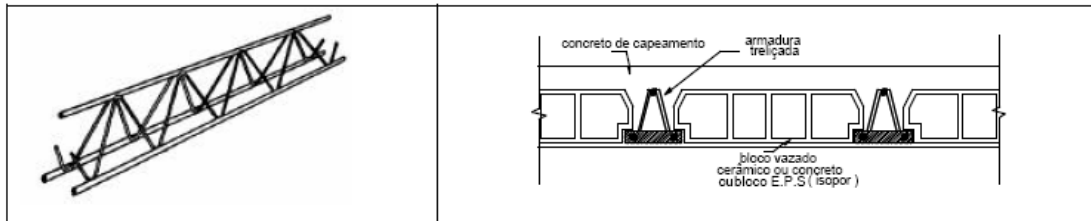
A pré-fabricação traz diversas vantagens para a construção civil, porém, é necessário um rigoroso controle em todas as etapas para que sejam evitadas patologias. A concepção, produção e montagem de peças pré-fabricadas em concreto armado e protendido exige um rigoroso e eficiente controle de qualidade dos seus materiais e processos, de modo que todas as fases da cadeia de produção devem ser bem planejadas para uma boa execução.

Este cuidado deve estar presente, principalmente, nas atividades relacionadas a engenharia, concepção da obra, detalhamento de projetos, fabricação de fôrmas metálicas e todas etapas necessárias para concretagem das peças. Um planejamento falho nestas etapas e/ou o não cumprimento das recomendações descritas em procedimentos operacionais e de controle, podem contribuir significativamente para o surgimento de manifestações patológicas.

Os elementos pré-fabricados são produzidos com o auxílio de máquinas e equipamentos industriais, e, após a moldagem, são submetidos a processos de cura, com temperatura e umidade controladas de acordo com especificações preestabelecidas (PIGOZZO et al., 2006).

Em obras de pequeno porte, é comum o uso de lajes com vigotas pré-fabricadas (vigas treliçadas); sendo estas as estruturas pré-moldadas mais usuais em estruturas desse tipo, porém, este tipo de componente não traz para a obra a totalidade das vantagens que caracterizam a construção pré-fabricada, como controle de qualidade do produto final e maior otimização no uso de materiais. A laje treliçada é formada por vigas que possuem armaduras treliçadas com uma base em concreto, e os vãos entre essas vigas podem ser preenchidos por blocos cerâmicos ou blocos de polietileno expandido (EPS), tornando a laje mais leve. Devido à ampla utilização desse tipo de laje, existem empresas que desenvolvem programas específicos para o dimensionamento dessas vigas treliçadas (CARVALHO et al., 2005).

Figura 1 – Armadura da laje pré-fabricada treliçada e seção transversal



Fonte: Carvalho *et al.* (2005)

A execução dos elementos pré-fabricados numa indústria é dividida basicamente nas seguintes etapas, conforme mostradas na Figura 2:

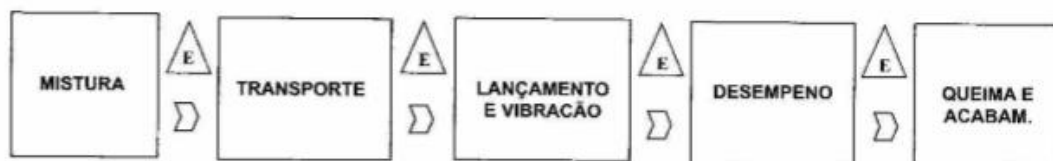
Figura 2 - Etapas da produção de elementos pré-fabricados



Fonte: Munte (2004)

A Figura 3 mostra as etapas pela qual o concreto passa, durante a produção dos elementos pré-fabricados.

Figura 3 - Etapas da concretagem para produção de elementos pré-fabricados

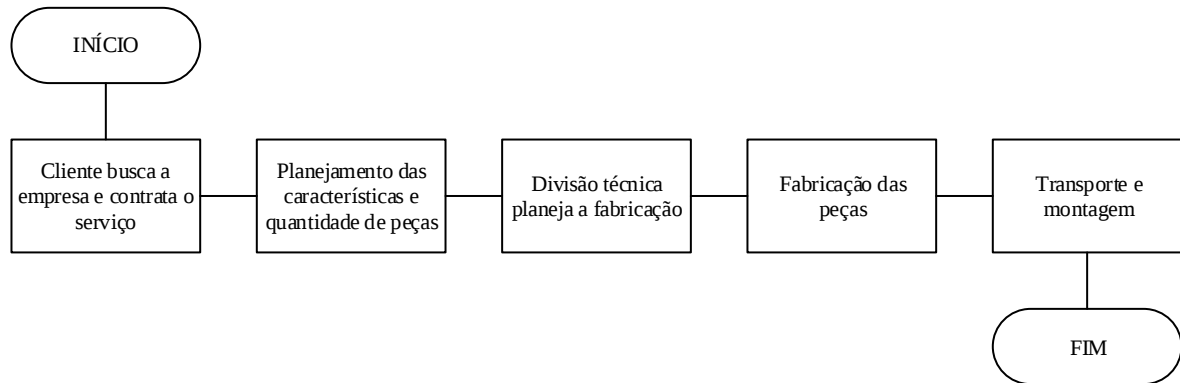


Fonte: Munte (2004).

3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DE ATIVIDADES

Aqui será feita uma breve caracterização das fases da produção de postes de concreto pré-fabricado. Inicialmente, o fluxograma da Figura 4 mostra todo o procedimento para a fabricação e uso de peças pré-fabricadas.

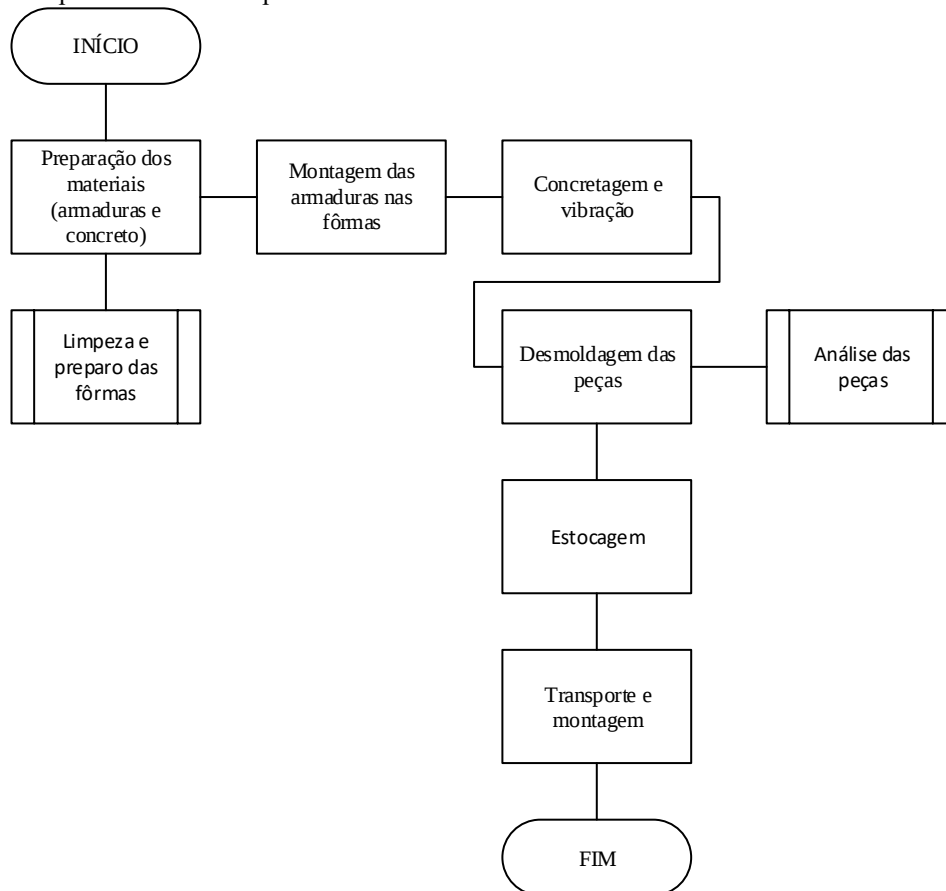
Figura 4 – Fluxograma global dos processos de fabricação de pré-fabricados



Fonte: Autoria própria (2017).

Já na Figura 5, observam-se no fluxograma todos os processos industriais para idealização destas peças, desde o corte e dobra do aço e misturas do concreto, até os elementos acabados e prontos para entrega.

Figura 5 - Etapas industriais dos pré-fabricados



Fonte: Autoria própria (2017).

- a) Armação: Já com o aço estocado em fábrica, pós-encomenda, nos variados diâmetros de seção, o processo se inicia no setor de corte e dobra, onde trabalhadores e máquinas seguem os detalhamentos estabelecidos em projeto e montam as armaduras nas mais variadas áreas de aço e comprimentos.
- b) Armazenagem de armaduras: Quando já montadas as armaduras das peças diversas conforme solicitado pelos setores seguintes, com armaduras longitudinais, estribos, estribos suplementares e arames, vão para estoque.
- c) Produção de concreto: Para o concreto, é necessário estoque de material ao lado dos galpões onde serão realizados os processos, além de estações de concreto com silo(s), peneira(s), caixa(s) d'água, balanças, misturadores sistemas automáticos dosadores de materiais, visando maior qualidade do material acabado. Os materiais utilizados são: cimento, agregado gráudo (brita), agregado miúdo (areia), areia e aditivos. Indica-se um traço para se alcançar concretos de alta resistência inicial.
- d) Concretagem: Nesta fase, inicialmente é necessário preparar as fôrmas removendo toda a sujeira para em seguida passar no interior das mesmas um óleo desmoldante que formará uma fina camada entre o concreto e as fôrmas, impedindo aderência entre ambos. Feito isto e com o concreto já pronto, serão cheios pequenos silos transportadores que são conduzidos por pontes rolantes até as fôrmas, onde será lançado o concreto.
- e) Moldagem e vibração: Com o concreto já lançado, funcionários farão a vibração do concreto, de modo que este tenha sua melhor distribuição possível de materiais frente ao aço. Depois da vibração, deve-se conferir toda a peça para que não haja pontos falhos.
- f) Desmoldagem e análise: Após cerca de 7 horas da moldagem, inicia-se a retirada das fôrmas e faz-se análise em todas as peças, onde aquelas que apresentarem falhas serão avaliadas para que em seguida seja tomada a decisão de reparo ou perda total. Lembrando ainda que peças aleatórias são retiradas para serem submetidas a testes.
- g) Transporte: As peças já prontas serão transportadas para a área de estoque por caminhões “munck”, cerca de 24 horas depois da concretagem.
- h) Estoque: Na região de estoque, ficarão aguardando data prevista ou solicitação do cliente. Cada peça fabricada receberá etiqueta descritiva e lacre.
- i) Transporte/Entrega: Novamente caminhões munck terão função de transporte. Agora para a entrega.

O processo de cura do concreto, evidenciado nas peças maiores e nos blocos, na produção de elementos pré-fabricados pode ser normal ou acelerado. A cura normal ocorre quando não se utiliza qualquer tipo de processo para atingir o

endurecimento do concreto antes de seu tempo natural. Por isso, o concreto deve ser protegido contra mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, agentes químicos, assim como choques e vibrações que possam causar fissuração na massa do concreto, ou prejudicar a sua aderência à armadura (NBR 9062, 2006 apud SPADETO, 2011, p. 70).

Já a cura acelerada pode ser alcançada por meio de tratamento térmico adequado e devidamente controlado. Na cura a vapor sob pressão atmosférica, ou simplesmente cura a vapor, os elementos pré-fabricados devem ser aquecidos uniformemente e em ambiente vedado por material isolante, tal como lonas e lençóis plásticos, de modo a garantir a saturação do vapor e impedir a excessiva perda do calor e umidade, assim como a formação de correntes de ar frio do exterior. O posicionamento das saídas dos pontos de alimentação de vapor deve ser projetado de modo a evitar a descarga direta, sobre a superfície do concreto, das formas ou sobre os corpos-de-prova (NBR 9062, 2006).

Este tipo de cura acelerada é muito utilizado para os blocos, tanto de pavimento, também conhecidos como *pavers*, como também para os estruturais, canaletas, meio-fio etc. onde após a desmoldagem são levados para estufas como as mostradas na Figura 6 a seguir.

Figura 6 – Modelo de estufa utilizado para cura de blocos pré-moldados



Fonte: Autoria própria (2017).

O projeto e a execução das fôrmas para peças em concreto pré-fabricado devem atender todas as condições para fácil desmoldagem, tais como a

previsão de ângulos de saída, a livre remoção das laterais e cantos chanfrados ou arredondados, de modo a evitar que os elementos concretados sejam danificados (NBR 9062, 2006 apud SPADETO, 2011, p. 72).

As fôrmas podem ser constituídas de aço, alumínio, concreto ou madeira, revestidos ou não de chapas metálicas, fibra, plástico ou outros materiais. Dependendo do tipo de material usado, elas poderão ser reaproveitadas por diversas vezes, razão pela qual devem ser limpas com atenção antes de cada utilização, sendo desprovidas de pintura ou outras substâncias protetoras que possam aderir à superfície dos elementos de concreto (NBR 9062, 2006).

3.2 PLANEJAMENTO E INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil tem um papel importantíssimo na economia brasileira, já que além de diminuir o déficit habitacional e gerar emprego e renda, é receptora de altos investimentos diretos e indiretos por parte dos órgãos federais, sendo um setor onde o investimento constante se torna necessário, não apenas por parte da iniciativa privada. De acordo com Cunha (2012), o setor de construção civil pela capacidade de gerar efeitos na produção, na renda e no emprego é considerado um setor chave. O alto nível de encadeamento com outros setores torna a atividade fundamental para o desenvolvimento econômico brasileiro.

A industrialização é um processo natural de evolução das empresas, já que elas sempre buscam maior eficiência com menor custo. Os entraves na cadeia produtiva impedem que a construção alcance uma maior industrialização. O setor é caracterizado por sua dispersão, desorganização e por ser composto por outras indústrias como a química, metalúrgica e plástica (SANTOS, 2009 apud SPADETO, 2011).

Frente a outros setores, a construção civil ainda é uma indústria bastante atrasada. Isso se explica por ela, em plena era da tecnologia, ainda apresentar processos arcaicos com baixa produtividade, elevado desperdício de materiais e tempos, baixo controle tecnológico e considerável variabilidade nos processos (EL DEBS, 2000).

Conforme Van Acker (2003), a forma mais efetiva de industrializar o setor da construção civil é transferir o trabalho realizado nos canteiros para fábricas permanentes e modernas. A produção numa fábrica possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas e controle de qualidade.

3.3 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO E O LEAN THINKING

Nesse mercado de alta competitividade, com prazos e lucratividades estabelecidos, como é o da construção civil, a tendência é sempre buscar alternativas e métodos produtivos para melhorar o desempenho das atividades e resultados. Ou seja, o aperfeiçoamento de técnicas construtivas e da aplicação dos materiais utilizados se faz necessário. Aí que entra o *Lean Production*, traduzido como produção enxuta, que tem origem no Sistema Toyota de Produção (também conhecido como produção *Just-in-Time*).

Na busca por maior competitividade, empresas dos mais diversos setores têm utilizado os conceitos enxutos de produção nos seus processos. No setor da construção não é diferente, mesmo que seja um âmbito com tantas práticas rudimentares. Quando as ações se voltam para a redução dos desperdícios e otimização dos recursos, as organizações ganham poder competitivo, além de adquirir maior participação no mercado.

A produção enxuta combina as vantagens da produção artesanal com as da produção em massa, isso porque evita a rigidez da produção em massa e os altos custos da produção artesanal. Assim, a Produção Enxuta emprega equipes de trabalhadores qualificados em todos os níveis da organização, além de perseguir custos sempre baixos, nível zero de estocagem, e desenvolver ou adquirir máquinas altamente flexíveis, para produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos, tendo sempre em mente a máxima satisfação do cliente – a qualidade aplicada. (WOMACK, JONES e ROOS apud MOREIRA, 2011).

Para Maximiano (2008) apud Ricci (2013), o Sistema Toyota de Produção é baseado em dois princípios: eliminação de desperdícios e fabricação com qualidade. O princípio de eliminação de desperdícios fez nascer a produção enxuta (*lean manufacturing*), ou seja, fabricar com máximo de economia de recursos. Já a fabricação com qualidade tem por objetivo produzir sem defeitos, que nada mais é, uma forma de eliminar desperdícios. O autor afirma que esse tipo de produção possibilita a manufatura de produtos de alta qualidade e baixo preço, o que é evidenciado nos produtos genuinamente japoneses, nos dias atuais, uma boa relação custo-benefício.

Em 1992 o Sistema Toyota de Produção (STP) foi julgado pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) como sendo “um tipo ideal transnacional de produção moderna”, por ser: “flexível e enxuto”; adequável à revolução tecnológica vigente (microeletrônica e tecnologias de

informações de base microeletrônica) e às transformações nas relações fornecedores-empresas-clientes (MARKERT, 1994, p. 369).

Baseado no Sistema Toyota de Produção, o *Lean Thinking* tem-se demonstrado como um novo paradigma para as organizações, elevando significativamente a produtividade e qualidade. Através deste enfoque, é analisado o ciclo de produção desde a matéria prima até o recebimento pelo consumidor final, identificando e eliminando as atividades geradoras de desperdício, remodelando-as e colocando-as em fluxo contínuo, puxado pelo cliente (WOMACK; JONES, 1998).

O Sistema Toyota de Produção, considerado como o sistema básico da produção *Lean*, apresenta como principal característica a flexibilidade das linhas produtivas, tendo a aplicação de pequenos lotes de produtos controlado por métodos que auxiliam a troca de ferramenta e a comunicação eficaz para responder às constantes variações dos mercados atuais (CAKMAKCI, 2008 apud BASTOS, 2012).

A primeira grande crise do petróleo, em 1973, expôs as principais fragilidades do sistema de produção em massa, até então dominante. Neste ambiente conturbado, o Sistema Toyota de Produção apresentou-se como uma alternativa, haja visto os números assombrosos que conseguira a Toyota Motor Co, líder japonesa na fabricação de automóveis. De acordo com Ghinato (1996), o "Just-in-Time" (JIT) e o "Kanban" foram imediatamente identificados como os elementos-chave da eficácia e sucesso do Sistema Toyota de Produção (STP).

Como mostra Womack (1992), a indústria automobilística foi palco, mais uma vez, para profundas transformações na produção industrial, no último quarto do século XX. Esses novos conceitos de produção referem-se a um conjunto de inovações organizacionais que a Toyota, empresa japonesa produtora de automóveis, vinha desenvolvendo desde a metade da década de 1950. Estes modelos foram batizados por Krafcik (1988) como *lean production* (produção enxuta), e seu oposto *buffered production* que, segundo o autor, caracterizaria a produção em massa (DOS SANTOS, 2003, p. 34).

Este sistema surgiu em um momento onde Taiichi Ohno se via com necessidade de produzir carros de uma forma eficiente para o pequeno mercado do Japão, logo após o país ter sido destruído na Segunda Guerra Mundial, de uma forma eficiente e com alta variedade de modelos produzidos em pequenas quantidades. Sendo assim, a grande dificuldade de Ohno era alcançar eficiência e reduzir custos, agora não mais com base em economias de escala, mas sim em outros elementos da produção manufatureira.

Ohno (1997) citou que a forma tradicional de se conseguir ganho de produtividade é pelo aumento da quantidade produzida (haja visto que a equação simples de produtividade é dada pelo produto total sobre a quantidade de trabalho aplicada), através da ampliação da escala de produção, válido para mercados grandes e/ou em expansão. Todavia, em mercados menores, ou ainda que passavam por um mau momento econômico, alcançar-se-á a eficiência através da redução do denominador, ou seja, diminuindo a quantidade de trabalho empregada na produção, o que necessitará de um processo muito mais racionalizado do que aquele da produção em massa.

Esta produção em massa gerava perda por superprodução, que acontece quando uma produção é realizada antes do momento necessário, o que resultará em sobra de produtos que ficarão no estoque aguardando uso, demanda por novas peças em um momento desnecessário e uso de esforço em momentos inadequados. À época, o principal sistema era a produção em massa, difundido pelo fordismo no enorme mercado americano. Sayer & Walker (1992) citados por Dos Santos (2003), citam a magnitude de diferença entre os mercados americano e japonês de automóveis, de modo que o produto de apenas um dia e meio de trabalho no primeiro era equivalente à toda produção anual japonesa.

O Sistema Toyota de Produção veio dizer que nem sempre a produção em massa é a mais conveniente de produzir, então, os criadores perceberam que a produção em massa havia apresentado resultados bons para grandes demandas, especialmente para pouca variabilidade de produtos. Entretanto, a realidade exigia uma demanda de pequenas quantidades e pouca variabilidade. Nesta condição, buscou-se um sistema de produção mais flexível e que respondesse rápido às expectativas do mercado (PASA, 2004 apud RICCI, 2013).

Monden (1984) cita que o sistema nasceu como um método de racionalizar a fabricação de produtos eliminando-se os elementos desnecessários na produção. Já para Liker (2005), os resultados da aplicação dos conceitos do Sistema Toyota de Produção buscam agregar valor aos produtos e podem tornar a empresa mais competitiva. Liker (2005) cita que o STP é o exemplo mais sistemático e mais altamente desenvolvido daquilo que os princípios do Modelo Toyota podem atingir.

Para Shingo (1996), o objetivo central do Sistema Toyota de Produção consiste em capacitar as organizações para responder com rapidez às constantes mudanças da demanda do mercado, seguindo as principais dimensões da competitividade: flexibilidade, custo, qualidade, atendimento e inovação. Algo necessário na busca por melhores técnicas na prática de

manufatura, visando adaptação ao competitivo ambiente a que estão submetidas as empresas. O sistema consiste em atender melhor o cliente, fornecendo produtos e serviços de alta qualidade, ao mais baixo custo e menor lead time possível (GHINATO, 2000).

A Toyota precisando fabricar pequenos volumes de modelos diferentes usando a mesma linha de montagem não poderia adaptar ao sistema de grandes quantidades de um número limitado de modelos, ou seja, não poderia usar o sistema de produção em massa como o da Ford (LIKER, 2005). Sendo assim, conforme relata Votto (2012), antes mesmo de iniciar o sistema, ou seja, de começar a implantar um método que só produziria de acordo com a demanda, os engenheiros da empresa tiveram que conhecer os métodos americanos de produção, da produção em massa.

O Sistema Toyota de Produção surge, portanto, da necessidade. A baixa demanda, as restrições de mercado e a situação pós-guerra em que se encontrava o Japão, propuseram a produção de pequenas quantidades de muitas variedades de itens. Sua implantação tem início depois da Segunda Guerra Mundial, mas depois da crise do petróleo, ao final de 1973, que despertou atenção da indústria japonesa.

Segundo Ohno (1997), em 1937 um trabalhador alemão produzia três vezes do que fazia um japonês. A razão entre americanos e alemães era a mesma. Isto fazia com que a razão entre a força de trabalho japonesa e americana ficasse em 1 para 9. Ou seja, o povo japonês estava perdendo algo. O pensamento que vingou no país era de que, se pudesse eliminar a perda, a produtividade poderia se multiplicar por dez. Esta ideia marcou o início do Sistema Toyota de Produção.

Ainda de acordo com Ohno (1997), a baixa produtividade japonesa dessa época era resultante de formas inadequadas de trabalho que geravam muito desperdício. Portanto, a produção de automóveis no Japão poderia ser viável desde que fosse possível obter a eliminação de todos os tipos de desperdícios. Assim, inovações e fatores motivadores foram implantados para obtenção do êxito. Uma dessas inovações, que fora essencial ao sistema de produção enxuta ocorreu fora da Toyota e que foi por ela utilizada com sucesso. Trata-se de um dispositivo de parada automática acoplado às máquinas, de modo a fazer com que elas parem de funcionar tão logo ocorra algum problema em sua operação. Este dispositivo, chamado de *poka-yoke* foi inventado por Sakichi Toyoda em sua empresa têxtil, a *Toyoda Spinning and Weaving*, onde Taiichi Ohno trabalhou inicialmente.

Dentre os fatores motivadores, pode-se citar a responsabilidade que todos os

participantes do processo produtivo recebem. Honna (1989) citado por Dos Santos (2003) relata que, no Japão, nas fábricas com o *lean manufacturing*, a pressão não é burocrática nem governamental, mas puramente de produção. A pressão sobre o executivo acaba sendo menor, já que a responsabilidade e o poder de decisão são divididos para todos por igual, havendo tanta pressão sobre o operário de linha quanto sobre o presidente da companhia. O conceito Kaizen, adicionado por Ohno, que remete a esta busca de melhoria contínua, contribuindo para a superação diária dos operadores nos postos de trabalho e, conseqüentemente, para a melhoria de toda a linha produtiva.

Os resultados alcançados pela Toyota Motor Co. não podem ser atribuídos somente à aplicação de um punhado de métodos ou tecnologias em particular. O sucesso da Toyota advém da construção de um sistema com sua ideologia incorporada, algo que reúne todos os seus princípios, métodos e técnicas e da aplicação concatenada deste conjunto. Os resultados obtidos pela Toyota Motor Co. provinham mais da sinergia entre os diversos elementos do que do somatório das contribuições isoladas de cada um. Ou seja, era exatamente esse conjunto de técnicas aplicadas em conjunto, aliada ao interesse de todos pela melhoria contínua (GHINATO, 1996).

Para Shingo (1996), o STP consiste em uma combinação entre máquinas, trabalhadores e seus objetivos, sem desperdícios, na utilização dos mesmos somente em atividades que agreguem valor ao produto e na redução ao mínimo possível do lead time.

Por questão comportamental, seria mais fácil ao japonês absorver esse estresse contínuo do que ao brasileiro, por exemplo. Conforme Dos Santos (2003), esquemas como o Just-in-Time teriam que enfrentar possíveis problemas comuns a países com menos infraestrutura, como faltas de energia, enchentes, quedas do sistema de comunicações, engarrafamentos, acidentes de trânsito, etc., que podem, a qualquer momento, parar uma linha de produção que depende de entregas na hora.

Ainda assim, muitas empresas estão tentando aplicar a sistemática da produção enxuta no Brasil de forma séria e com pensamento a longo prazo. De acordo com Dos Santos (2003), a maioria das companhias brasileiras tende a adotar somente aqueles aspectos da produção "enxuta" que lhes convém no momento, com um pensamento de curto prazo. Por exemplo, o amplo uso dos sistemas "Just-in-Time" e "kanban" dentro da fábrica tem permitido a redução de estoques com grandes economias de capital de giro exatamente quando o crédito é muito caro. Causa disso também é que a completa incorporação do STP requer anos, podendo se falar

em décadas.

Essa pressa, típica da cultura brasileira, é bastante prejudicial à implantação do sistema de produção enxuta, uma vez que mais do que a aplicação de ferramentas, refere-se a uma mudança ideológica das empresas. Para que fossem desenvolvidas e implantadas todo o conjunto ferramentas e ideias dentro da Toyota foram necessários mais de 20 anos de trabalho desenvolvido por Toyoda e Ohno. Sendo que o resultado final foi de grande êxito, principalmente em relação à produtividade, qualidade dos produtos e rapidez em atender a demanda de mercado (WOMACK, JONES e ROOS, 1992).

A filosofia lean, advinda do Sistema Toyota de Produção, prega que qualquer desperdício ao longo do processo corresponderá a uma perda de esforços, materiais e de tempo. Sendo assim, a lógica deste sistema é de que tudo aquilo que gerar custo e não agregar valor deve ser eliminado. Womack (2000), cita que o pensamento enxuto é uma filosofia operacional, uma forma de especificar o valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor e realizar essas atividades de forma ininterrupta, todas as vezes que alguém solicitar.

O método de aplicação das ferramentas *Lean*, tem como objetivo melhorar a qualidade do produto e com a contribuição de seus funcionários a perspectivas produção enxuta, é diminuir o desperdício e melhorar a eficiência, este é o diferencial para o Sistema Toyota de Produção – SPT no competitivo mercado mundial. O núcleo do STP compõe-se de processo padronizado que incentivam a colaboração individual para metas e objetivos comuns (MAGEE, 2008).

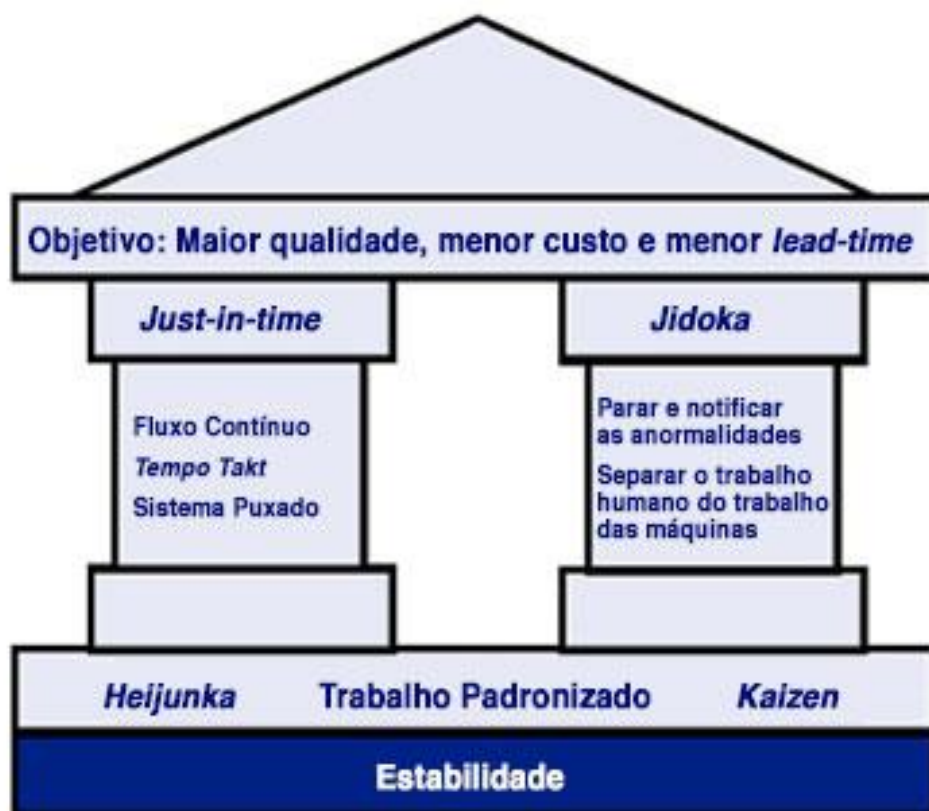
Segundo Ohno (1997), “eficiência”, na indústria moderna e nas empresas em geral, significa redução de custos. A redução de custos deve ser o objetivo dos fabricantes de bens de consumo que busquem sobreviver no mercado atual. Ohno (1997) definiu desperdício como qualquer atividade que consome recursos, adicionando custos e que não gera qualquer valor ao produto desejado pelo cliente, e identificou os sete tipos de desperdícios que devem ser eliminados do sistema produtivo:

1. Superprodução (produzir mais, e antes do necessário, gerando excesso de produtos);
2. Esperas (implicando em operários e/ou máquinas ociosos);
3. Transporte (movimentos desnecessários de material);
4. Retrabalho – Operações extras de reprocessamento devido a defeitos, excesso de produção ou excesso de inventário;

5. Inventário – Todo o material produzido, matéria-prima e *stocks* existentes no meio da linha produtiva que não foi pedido pelo cliente;
6. Movimento – Movimentos desnecessários por parte dos operadores, por vezes devido ao Layout das próprias empresas, defeitos, retrabalhos, superprodução ou excesso de inventários
7. Defeitos – Produtos finais que não são as especificações dos clientes; Falhas operacionais devido a problemas de concepção produto ou processo não adequado.

Para alcançar a eficiência, com total eliminação de perdas e redução do trabalho adicional, segundo Ohno (1997), o processo se organiza sob dois pilares básicos: a “autonomação” e o *just-in-time*. Para melhor entendimento da estrutura organizacional do Sistema Toyota de Produção, criou-se o diagrama “Casa STP” (ver Figura 7). Nela, estão descritos os pilares de sustentação, a base e os elementos componentes do sistema:

Figura 7 – Casa STP



“Casa” do Sistema Toyota de Produção

Fonte: www.lean.org.br; Acesso em out. de 2017.

Estão explícitas algumas das principais ferramentas do STP, que, juntas e após uma transformação ideológica nas empresas, onde estas tenham sido incorporadas, poderão, à longo prazo, proporcionar profundos ganhos contínuos aos processos, como maior qualidade, menor custo e menor tempo de ciclo, são elas:

- *Just-in-time* (JIT): É um dos pilares do STP e visa a melhoria contínua do processo. Se trata da concepção do método de produção onde o material a ser trabalhado deve chegar à linha de montagem apenas no momento em que está sendo demandado e somente na quantidade necessária. Procedimentos que se afastem desse método de organizar a produção podem gerar desperdícios e, portanto, elevar os custos de produção, além de gerar acúmulo de peças trabalhadas entre os postos de trabalho. Sua efetividade é alcançada mediante a utilização de algumas inovações técnicas e procedimentos de produção, tais como o *Kanban* e a Troca Rápida de Ferramentas. A introdução do *Kanban* (cartão de pedido que se controlam os fluxos de produção e transportes) permite atuar sobre uma das principais fontes de desperdício: o estoque. Sua implantação não é fácil, pois vai contra o pensamento de produtividade máxima em cada posto de trabalho, e favorece à produção puxada, com fluxo contínuo e melhor tempo takt (frequência com que se produz uma peça, baseado no ritmo de vendas). Segundo Ohno (1997), uma empresa que estabeleça esse fluxo integralmente pode chegar ao estoque zero. Do ponto de vista da gestão da produção esse é um estado ideal.

- *Jidoka*: Outro pilar do Sistema Toyota de Produção, conhecido como “autonomação”, consiste em facultar ao operador (ou à máquina) a autonomia de interromper a operação sempre que ocorrer alguma situação anormal ou quando a quantidade planejada de produção for atingida. Pode ser aplicada em operações manuais, mecanizadas ou automatizadas. O vocábulo “autonomação” é uma combinação de dois outros: autonomia e automação, ou seja, uma automação com inteligência humana. Busca representar a ideia do dispositivo *Poka-Yoke*, permitindo a parada automática do processo. As vantagens desse mecanismo é que um mesmo operador pode monitorar várias máquinas simultaneamente, além da redução nos desperdícios de matérias-primas e peças defeituosas que se consegue detectar com antecedência, além de evitar retrabalhos que pudessem ser gerados em peças que seguiriam, caso o processo não tivesse parado.

- Estabilidade: A base que sustenta todo o TPS é a estabilidade, afinal para que os produtos sejam fabricados na quantia e instante certos, conforme o pilar *Just in Time*, e livres de defeitos, como preconiza o pilar *Jidoka*, é preciso que haja o controle dos processos e sua capacitação, chegando a serem estáveis (GHINATO, 2000). Para que o TPS seja implementado, é indispensável que haja estabilidade dos processos, pois a idealização e implantação de melhorias na produção carecem de total controle e previsibilidade, para também identificar-se toda a cadeia de valor, os problemas e soluções a serem adotadas (GHINATO, 2000).
- Heijunka: Significa “Produção Nivelada” e, segundo Womack e Jones (1998), consiste em uniformizar a produção, ou seja, tentar manter constante o volume total produzido.
- Kaizen: Como pôde ser observado, o terceiro constituinte da base sobre o qual estão assentados os pilares do TPS é justamente o kaizen (GHINATO, 2000). A qualidade total consiste numa estratégia de administração orientada a criar consciência da qualidade em todos os processos organizacionais. É a melhoria contínua de uma atividade, ou seja, determina onde estão as perdas ou falhas do processo, e foca na eliminação dessas falhas, de tal forma a evitar desperdícios e agregar valor ao produto ou atividade. Esta ferramenta funciona com um contínuo monitoramento dos processos, o qual pode ser feito através do ciclo PDCA (*Plan - Do - Check - Act*), o que garante uma observação dos erros e possíveis melhorias, ou seja, padronização de melhores soluções; tudo isso sem grandes investimentos. (CHIAVENATO, 2003).
- Trabalho padronizado: É o resultado da melhoria contínua (Kaizen), além de ser base para que futuras melhorias possam vir a serem feitas. Dentre alguns de seus benefícios, podemos citar: reduções na variabilidade, maior agilidade de trabalho, uma base comum para as atividades de melhoria e maior segurança.

Ohno (1988) faz uma analogia com um time de baseball para definir a relação entre os dois pilares do STP, colocando a automação como a habilidade e o talento individual dos jogadores e o JIT como o time que joga bem, jogando junto. O time está envolvido pelos mesmos objetivos comuns (JIT) e a automação elimina perdas importantes: superprodução, espera e fabricação de produtos defeituosos. Um time campeão, entenda-se Toyota, combina o

jogo de equipe com a habilidade individual, e aí está a força da sinergia destes dois fatores.

3.3.1 PENSADORES DA FILOSOFIA LEAN

Womack e Jones (1998) desenvolveram cinco princípios para o pensamento enxuto, com o objetivo de eliminar as perdas nas organizações, sendo estes descritos na Tabela 1:

Tabela 1 – Produção enxuta segundo Womack e Jones

5 CONCEITOS BÁSICOS DA PRODUÇÃO ENXUTA	
1. Valor	Capacidade oferecida a um cliente no momento certo a um preço adequado, conforme definido pelo cliente, de modo a considerar o investimento no produto como algo de mais valia para si.
2. Cadeia de valor	Representa todos os processos e atividades que contribuem para a produção de um produto, desde a chegada da matéria-prima até à sua entrega ao cliente, com o intuito de identificar os desperdícios criando um fluxo entre setores que acrescentam valor.
3. Fluxo	Caracteriza-se pela passagem do material sem interrupções, refugos ou contra fluxos de um setor para outro, sem que exista tempo de espera entre ambos.
4. Produção puxada	Método de controle da produção em que as atividades posteriores avisam às atividades anteriores sobre suas necessidades. A produção puxada tenta eliminar a produção em excesso e é um dos três componentes principais de um sistema de produção <i>Just-in-Time</i> completo.
5. Gerenciar rumo à perfeição	Eliminação total de qualquer atividade que

	consoma recursos, mas não crie condições para que todas as atividades ao longo do tempo de uma cadeia criem valor.
--	--

Fonte: Autoria própria (2017).

Segundo Koskela (1992), os problemas existentes na construção civil são bem notórios e conhecidos; as condições de trabalho são ruins, existe uma escassez de força trabalhista em muitos países, tudo isso, agregado a mão de obra pouco qualificada existente, traz grandes problemas e uma baixa qualidade aos produtos finais gerados. Sendo assim, Koskela (1992), por sua vez, desenvolveu o conceito *Lean Construction* (Construção Enxuta), instituindo onze princípios para sua aplicação na construção civil, sendo estes listados a seguir:

Tabela 2 – Conceitos do Lean Construction segundo Koskela

11 CONCEITOS DO LEAN CONSTRUCTION	
1. Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor	Para que o processo possa ser aprimorado reduzindo suas perdas deve ser melhorada a eficácia das atividades de conversão e fluxo, excluindo as atividades que não acrescentar valor ao cliente final. Porém estas atividades a serem excluídas devem ser criteriosamente analisadas, pois há atividades que não agregam valor diretamente ao cliente final, mas são indispensáveis para a eficácia global dos processos, como treinamento da mão de obra, utilização de dispositivos de segurança e controle dimensional (FORMOSO, 2002 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
2. Aumentar o valor do produto por meio da consideração das necessidades dos clientes	É preciso identificar as necessidades dos clientes, tanto internos quanto externos, para que estas participem da elaboração do plano de gestão da produção. Para o emprego deste princípio deve-se mapear o processo,

	encontrando sistematicamente os clientes e os requisitos correspondentes a cada fase (GONÇALVES, 2009 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
3. Reduzir a variabilidade	Os processos de produção não são constantes, existindo diferenças de item para item, ainda sendo estes o mesmo produto, feitos como os mesmos recursos (tempo, mão de obra e matéria prima) (KOSKELA, 1992). São vários os processos de variabilidade de um processo, dentre eles há a variabilidade nos processos anteriores, que é ligada aos fornecedores do processo, a variabilidade no próprio processo, atrelada a sua execução, e a variabilidade da demanda, vinculada às necessidades e anseios do cliente final. A diminuição da variabilidade nos processos tem dois principais motivos. Primeiramente um produto uniforme resulta em maior satisfação ao cliente, afinal o atendimento das necessidades previamente notadas é o que confere qualidade ao produto. Em segundo plano, se houver variabilidade a quantia de atividades que não agregam valor deve aumentar, juntamente com o tempo para a produção devido a interrupções de fluxos de trabalho e rejeição de produtos fora da especificação do cliente (FORMOSO, 2002 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
4. Reduzir o tempo de ciclo	É o conjunto de todos os tempos vinculados ao fluxo de materiais, essencial a execução de uma obra. Reduzir o tempo de ciclo denota

	aprovisionar cada processo no momento certo, impedindo a criação de grandes estoques. Gera os benefícios de atender com rapidez o cliente, agilidade na gestão de processos, aumento de aprendizado, previsibilidade de demanda e menor vulnerabilidade do sistema (MACEDO, 2004 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
5. Simplificar através da redução de passos, partes e ligações	A simplificação de um processo pode ser realizada readequando seus passos ou partes que agregam valor a ele, e descartando as tarefas de não agregam nenhum valor. São muitas as formas de simplificar o processo de produção, tal qual a utilização de elementos pré-fabricados, equipes polivalentes, aplicação de ferramentas, como os 5S's, planejamento eficiente do processo, dentre outras (NUNES, 2010 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
6. Aumentar a flexibilidade do resultado final	Significa majorar a capacidade de realizar modificações no produto final conforme as necessidades do cliente, sem considerável aumento do custo. Pode ser alcançada diminuindo-se o tamanho dos lotes, diminuindo as barreiras em realizar ajustes e trocas, possibilitar a personalização do produto no tempo mais tarde possível, mão de obra polivalente facilmente adaptável a alterações relacionadas a procura e escolha de processos construtivos flexíveis (NUNES, 2010 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
7. Aumentar a transparência do processo	Quanto mais transparente o processo, maior

	a facilidade em se obter controle e melhorias. A transparência diminui a disposição a falhas, aumenta a visibilidade geral da produção e incentiva melhorias. O aumento da transparência pode ser conseguido, por exemplo, através de controle visual, sinalizações, manutenção básica de processos e maior independência entre as unidades produtivas (WIGINESCKI, 2009 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
8. Focar o controle no processo global	O controle segmentado de processos tem seu fluxo transcorrente por unidades distintas ou atravessando a organização. Logo para o controle global do processo este deve ser medido durante todos os procedimentos, com um responsável sempre realizando acompanhamento (ROMANEL, 2009 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
9. Introduzir melhoria contínua no processo	A melhora contínua dos processos colabora com a redução de perdas, agregando valor ao produto. Acontece internamente, por meio da interação dos funcionários, que devem receber capacitação, juntamente com outras iniciativas levando ao aprimoramento constante do processo (ROMANEL, 2009 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
10. Balancear melhoria nos fluxos por meio de melhoria nas conversões	Para que haja melhoria na produção, tanto os fluxos quanto as conversões devem receber atenção especial, pois em cada etapa de produção possuem diferentes características que devem ser observadas. Em geral, quanto mais complexa a etapa, e mais resíduos

	inerentes ao processo de produção, maior melhoria é obtida através de alterações no fluxo (KOSKELA, 1992 apud VANSAN e LANGARO, 2013).
11. Fazer <i>benchmarking</i>	Significa empregar métodos e processos utilizados em outras empresas que apresentaram êxito. É uma ideia simples, que dispensa a organização de investimentos para sua obtenção a aplicação. Diminui a competitividade, criando um padrão de métodos e processos às empresas de um mesmo setor (MACEDO, 2004 apud VANSAN e LANGARO, 2013).

Fonte: Autoria própria (2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho é baseado nos princípios do estudo de caso, portanto, foram utilizadas como técnicas de pesquisa a observação do processo em questão, a entrevista e dados documentais, além do estudo de um referencial teórico pautado no Sistema Toyota de Produção e na importância da qualidade implementada na construção civil brasileira. Feito isto, buscou-se em seguida a aplicação em um contexto real. Neste caso, a uma fábrica de peças pré-moldadas de concreto no semiárido do Rio Grande do Norte.

A revisão da literatura foi feita através de livros, artigos acadêmicos e anais de eventos, publicados por estudiosos das áreas de concreto pré-moldado, da metodologia *Lean* e do Sistema Toyota de Produção. Já com o conhecimento prévio, foram realizadas quatro visitas à unidade produtiva da empresa estudada, onde foram observados todos os elementos do processo produtivo, coletivamente e também de forma individual.

A principal modalidade de pesquisa deste estudo é o estudo de caso. Foram ainda adotadas as pesquisas bibliográfica, documental e de campo. Severino (2007) classifica estudo de caso como pesquisa que se concentra no estudo de um caso particular, considerado representativo de um conjunto de casos análogos, por ele significativamente representativo. Classifica ainda como um conjunto de técnicas de análise das comunicações.

Para Gil (2008), estudo de caso é a análise de um ou poucos objetos de modo que se obtenha um conhecimento sobre tal, tendo como propósitos explorar situações reais, descrever o contexto da investigação ou explicar causas de determinados fenômenos.

“A pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em documentos impressos como livros, artigos, teses etc. Utiliza-se de dados ou de categorias teóricas já trabalhados por outros pesquisadores e devidamente registrados. Os textos tornam-se fontes dos temas a serem pesquisados. O pesquisador trabalha a partir das contribuições dos autores dos estudos analíticos constantes dos textos. No caso da pesquisa documental, tem-se como fonte documentos no sentido amplo, ou seja, não só de documentos impressos, mas sobretudo de outros tipos de documentos, tais como jornais, fotos, filmes, gravações, documentos legais. Nestes casos, os conteúdos dos textos ainda não tiveram nenhum tratamento analítico, são ainda matéria-prima, a partir da qual o

pesquisador vai desenvolver sua investigação e análise” (SEVERINO, 2007, p. 122).

A observação é uma técnica de coleta de dados que para conseguir informações utiliza os sentidos na obtenção de determinados aspectos da realidade do local em estudo. Não consiste apenas em ver ou ouvir, mas também, examinar fatos fenômenos que deseja-se estudar (LAKATOS e MARCONI, 2008).

“Na pesquisa de campo, o objeto/fonte é abordado em seu meio ambiente próprio. A coleta dos dados é feita nas condições naturais em que os fenômenos ocorrem, sendo assim diretamente observados, sem intervenção e manuseio por parte do pesquisador. Abrange desde os levantamentos (surveys), que são mais descritivos, até estudos mais analíticos.” (SEVERINO, 2007).

Além da abordagem qualitativa, a pesquisa será realizada quantitativamente através de coleta e tabulação de dados, a fim de que estes sejam analisados e dispostos em quadros para uso de algumas ferramentas *lean*. Para descrever os processos, serão usados fluxogramas, que nada mais são do que uma representação gráfica da sequência das atividades de um determinado processo. Mostra ainda o que é realizado em cada etapa, os materiais e/ou serviços que entram e saem do processo, as decisões que devem ser tomadas e as pessoas envolvidas.

Para Marconi e Lakatos (2003) o fluxograma “[...] auxilia o pesquisador a conseguir uma abordagem mais objetiva, imprimindo uma ordem lógica do trabalho”. O fluxograma é formado, basicamente, por três módulos: início ou entrada, que trata do assunto a ser considerado no planejamento; processos, que são todas as operações envolvidas e; fim ou saída, que é a resposta para o problema de pesquisa, não existindo mais ações a serem consideradas (CÉSAR, 2011).

De acordo com Muller (2003), antes de detalhar qualquer processo é preciso definir seus limites inicial e final. Nas organizações é necessário que os limites dos processos estejam claramente definidos para evitar sobreposições ou falta de responsabilidade por partes de processos. Muller (2003) diz ainda que a elaboração de fluxogramas é uma ferramenta chave para a compreensão dos processos empresariais. Eles representam as atividades dos processos existentes e dos propostos e permitem visualizar e analisar as relações entre departamentos, atividades, fluxos físicos, informações, etc., e o impacto das mudanças propostas.

Harrington (1993) citado por Muller (2003), define o fluxograma como um método para descrever graficamente um processo existente, ou um novo processo, utilizando símbolos

simples, linhas e palavras, de forma a apresentar graficamente as atividades e a sequência no processo.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE PRODUTIVA

A empresa de concreto pré-moldado tem sua unidade industrial no semiárido potiguar. A cidade de Mossoró-RN possui forte representatividade local, sendo a segunda maior do estado em economia e população, classificada como uma das cidades com maior potencial de crescimento do nordeste brasileiro, é o ponto principal da construção civil no oeste potiguar, além de maior produtora de sal marinho e de petróleo *on-shore* do Brasil, e de possuir forte e progressiva agricultura irrigada.

Com 17 anos de atuação, iniciou com sua produção voltada para fabricação de peças pequenas, como vigotas treliçadas, estacas para cercas, etc. que abasteciam materiais de construção da região. Com o crescimento da cidade e o aumento da demanda por outros tipos de peças, adaptou-se a produzir também tubos circulares, postes de distribuição de variadas dimensões e demais peças, de acordo com a necessidade do mercado.

Com o passar dos anos, soube aproveitar o potencial das indústrias dos diversos setores da cidade para realizar parcerias com diversas prestadoras de serviço, até que em 2005 conquistou parceria com concessionária de energia, o que aumentou consideravelmente a demanda por postes, levando a uma mudança da indústria para um local maior, que comportasse o crescimento.

Sua fábrica atual conta com uma área de 92.181,80 m², onde estão dispostos seus galpões de produção, armação e mecânica, prédios administrativos, estoques de materiais e produtos, refeitórios, banheiros, tanque de combustível para abastecimento da sua frota de veículos, área de testes etc. A lista de produtos conta com postes de distribuição e de transmissão, peças para galpões, blocos de vedação, blocos estruturais, blocos canaleta, blocos de pavimentação, meio fio, mourões, estacas para muros, tubulações, peças estruturais e peças diversas (tais como tampas, onde as fôrmas vão sendo idealizadas de acordo com necessidade).

Buscou-se acesso aos dados gerais do local de trabalho, bem como ao mapa de fluxo, identificando o fluxo de materiais, os tempos de produção, custos e perdas geradas na produção das peças de concreto, as principais frentes de produção da empresa, além da disposição da mão-de-obra para com as máquinas. A partir disso, foi feita a identificação dos pontos que não

agregam valor ao produto e os principais motivos de perdas, que passaram por uma análise embasada pelos métodos do pensamento *Lean* com auxílio de ferramentas de qualidade, para que, por fim, possam ser remanejados, reduzidos ou eliminados do processo.

A empresa possui duas frentes produtivas principais: produção de postes e galpões pré-moldados. Os postes representam a principal linha de produção da empresa, sendo estes de seções e comprimentos diversos, possuindo galpão específico para os postes menores (de distribuição de energia) e uma área aberta com pontes rolantes e área de armação anexa para os postes de maior comprimento (de transmissão de energia) onde as armaduras são cortadas e dobradas exclusivamente para este setor. Ao lado do setor de postes, temos o de peças para galpões, que usa a mesma central de concreto da unidade vizinha e também possui pontes rolantes, que, aliás, se fazem presentes ainda nos galpões de produção de blocos estruturais e de pavimentos, enquanto que nos galpões de peças diversas, há menor controle na fabricação e transporte do concreto.

Por fim, houve a coleta de dados para análise. Para efeito de comparação, os dados mostravam a realidade da produção antes e depois do incremento da automatização da empresa, advindo das pontes rolantes, silos fixos e móveis, estações de concreto, empilhadeiras e frota de veículos grandes, além das máquinas de corte e dobra automáticos de vergalhões de aço.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 UNIDADE PRODUTIVA E MAPOFLUXOGRAMA

A empresa possui arranjo semelhante ao representado pelo mapofluxograma da Figura 7. Logo na entrada está situado o prédio administrativo, onde ficam recepção, escritório de vendas e setor administrativo da empresa. Adentrando, inicialmente encontra-se o setor de fabricação de blocos (estruturais, *pavers*, canaletas etc.), composto por duas centrais de concreto, esteiras rolantes, fôrmas, estufas para cura e *pallets* para preparação de posterior estocagem, além do laboratório de análises gerais, situado neste ponto devido a essas peças requisitarem de maior controle.

Mais à frente está a região da empresa dos setores onde as peças geralmente são armadas com aço. São eles: setor de produção de postes de distribuição, setor de produção de postes de transmissão, setor de produção de peças de galpão e setor de produção de peças diversas. À exceção do último, todos possuem pontes rolantes, fôrmas próprias e concreto controlado pelas estações. As peças diversas, por sua vez, são feitas ainda com processos mais arcaicos.

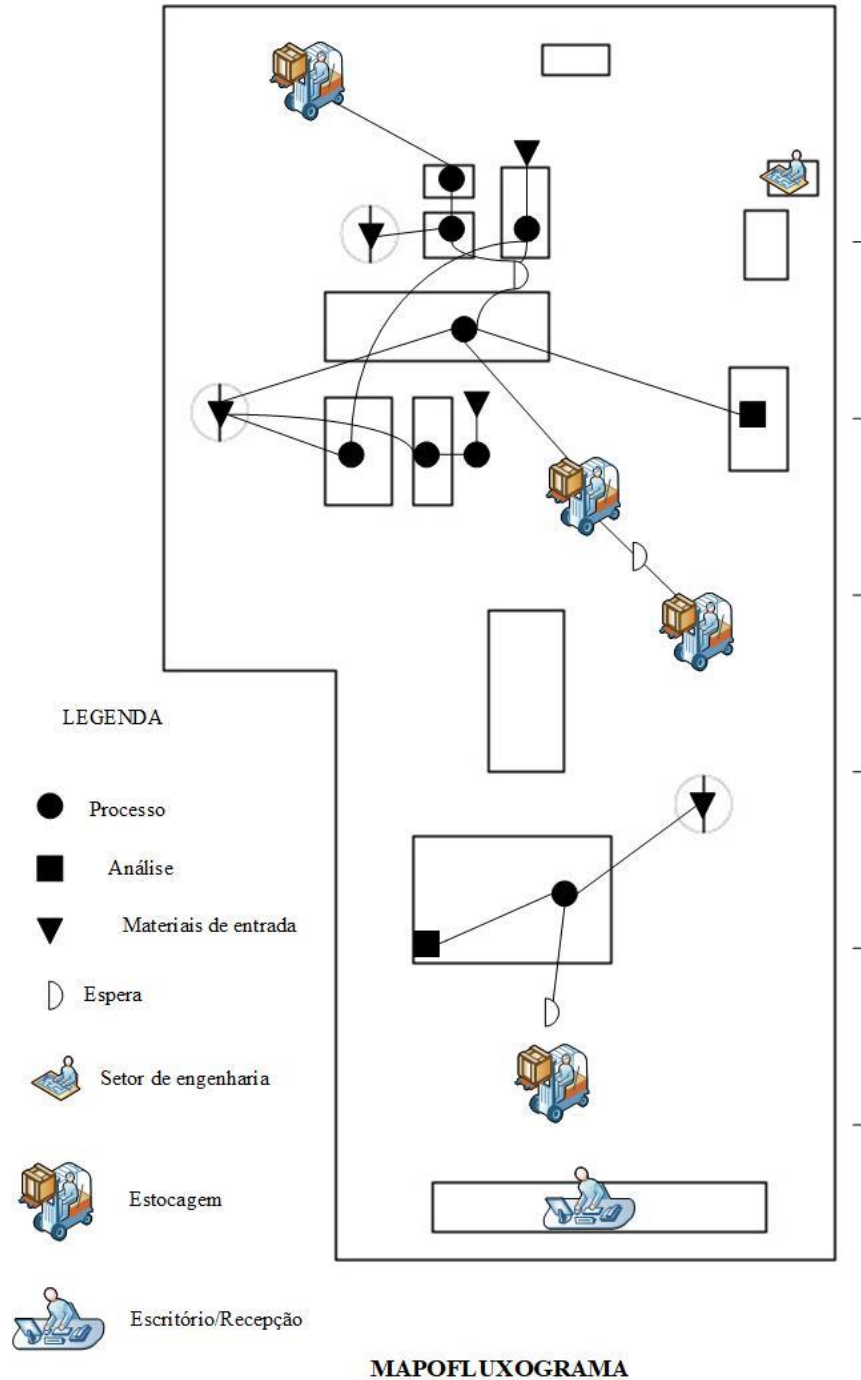
Os postes de distribuição de energia são, de longe, responsáveis pela maior produção da empresa, onde, em períodos de alta demanda, chega a produzir até 180 unidades por dia, mas, em média, essa produção se mantém pouco superior a 100 unidades. Todas as semanas são realizados testes em peças prontas aleatórias, sendo a cada 15 dias para um dos dois principais compradores destes produtos.

Tem-se ainda na fábrica, o galpão das armaduras, onde é realizado o corte, dobra e montagem das ferragens, galpão de serviços mecânicos (tendo em vista que a empresa dispõe de frota própria para transporte e armazenamento das peças), galpão com tanque de combustível para as máquinas, prédio de engenharia e planejamento, refeitórios, banheiros e almoxarifados. Ao lado dos galpões produtivos ficam também os reservatórios de materiais, que são abastecidos conforme necessidade por empresas terceirizadas para tal serviço.

Na produção de peças diversas percebeu-se um processo bastante arcaico, onde o concreto é concebido em betoneira e o transporte é todo manual. Já no galpão de blocos, se encontra a maior automatização da indústria, com duas estações automáticas de concreto com esteiras rolantes, fôrmas próprias, estufas para cura das peças, maior qualidade na armazenagem dos produtos e controle de qualidade assistido por laboratório situado em sua área. Todos os

galpões contam com estoque próprio de matéria-prima, que são constantemente abastecidos por empresas terceirizadas.

Figura 8 – Mapofluxograma da unidade produtiva de pré-fabricados



Fonte: Autoria própria (2017)

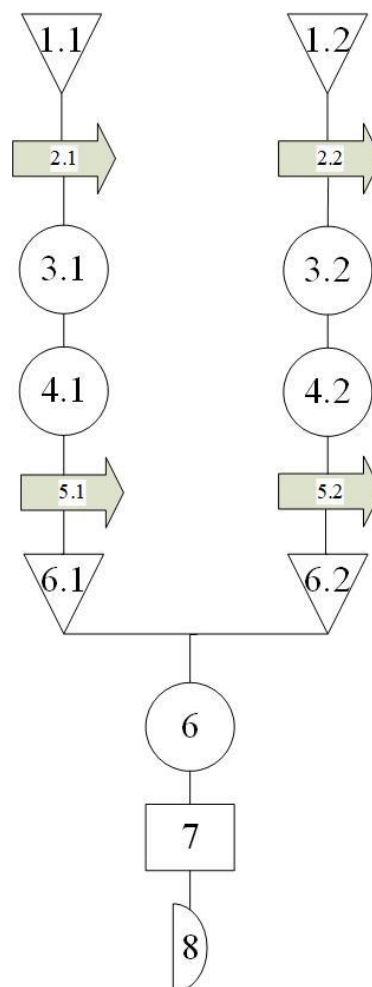
Como é possível observar na Figura 8, a fábrica pode ser dividida em duas partes principais: Peças com armadura de aço, que ficam próximas ao setor de corte e dobra, e os

blocos, que não recebem armadura e ficam mais afastados, assim como ficarão os postes à base de fibra de vidro. O que é comum a todos é a estocagem dos materiais, realizada nos espaços entre as unidades, bem como a estocagem inicial dos materiais que servem de matéria-prima para o concreto, sempre armazenados ao lado dos galpões.

5.2 PRODUÇÃO DE POSTES E GALPÕES COM FLUXOGRAMA E FALHAS

Conhecidas as diversas vantagens dos fluxogramas para mapear processos, já explanadas na teoria, optou-se por esse método para retratar como se procede a fabricação das peças pré-fabricadas pela empresa do estudo de caso.

Figura 9 – Fluxograma de postes e galpões
FLUXOGRAMA DAS ARMADURAS –
POSTES E GALPÕES



Fonte: Autoria própria (2017)

Iniciando pelo postes e galpões, carros-chefes da unidade produtiva, temos a seguinte sequência de processos:

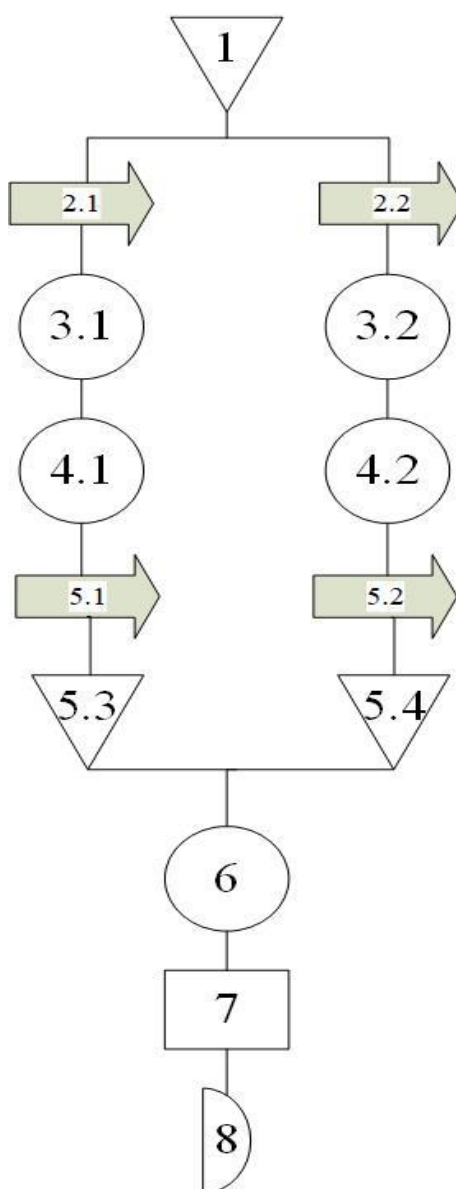
- Em 1.1 e 2.1, os processos se iniciam com a estocagem dos vergalhões e arames de aço. Estes se diferenciam, pois, o primeiro estoque é voltado para a montagem das armaduras dos postes, peças de galpões e peças pequenas diversas, e possui 3 máquinas para tal serviço, enquanto que o segundo fica em outro local, é destinado aos postes de transmissão de energia e postes circulares e o processo é realizado apenas por ferreiros.
- Da armazenagem, ambos são transportados em 2.1 e 2.2 para seus respectivos pontos de montagem das armaduras. Este transporte é um processo manual, realizado pelos funcionários dos setores de armaduras.
- Quando já nos setores das armaduras, são realizados os processos 3.1 e 3.2 de cortar e dobrar as barras e fios de aço.
- Depois de cortado e dobrado seguindo dimensões pré-estabelecidas em projeto, o aço é amarrado de forma a serem montadas as armaduras metálicas. Este processo é executado nos pontos 4.1 e 4.2.
- Com as armaduras prontas, será feito novo transporte manual (5.1 e 5.2) destas até terreno ao lado de cada um desses galpões de produção, onde estas ficarão estocadas e aguardando serem utilizadas.
- Quando as fôrmas já estão prontas e recebem as armaduras, podem ser desenvolvidos os processos de montar, concretar, vibrar e desmoldar, resumidos no item 6, como preparação das peças.
- Estas peças já prontas passarão por análises de verificação (onde a falha que mais costuma ocorrer é a falta de cobrimento das armaduras, oriundo do posicionamento destas nas fôrmas), onde serão liberadas para aguardar o transporte para as obras, podendo ficarem longos períodos.

5.3 PRODUÇÃO DE PEÇAS DIVERSAS E BLOCOS COM FLUXOGRAMA

O setor dos blocos, por não possuir armaduras é muito mais ágil e automatizado, tendo

em vista que estas são as responsáveis por grande parte dos estoques e transportes manuais que tanto atrasam os processos nos setores citados anteriormente.

Figura 10 – Fluxograma dos blocos
FLUXOGRAMA - BLOCOS



Fonte: Autoria própria (2017)

Mais controláveis e com saídas mais rápidas, os blocos possuem unidade de estações de concreto semelhante à dos postes e galpões:

- Seu processo se inicia já nos materiais componentes (cascalho, areia, cimento, pó granítico) desse tipo de concreto, que ficam estocados ao lado deste setor, recebendo abastecimento dos fornecedores diariamente, conforme a produção pede.
- Estes materiais são transportados por escavadeiras até o setor produtivo, onde

poderão seguir para uma das duas estações de concreto, sendo a primeira (2.1) que produzirá os blocos estruturais nas e canaletas, enquanto que a segunda (2.2) leva à produção dos *pavers* (blocos de pavimentação) e blocos de vedação.

- O processo se inicia com a mistura dos materiais com aditivos e água, controlados por sistema computadorizado dosador de cada um destes, de maneira que fará o traço conforme pré-determinado. Assim como nas outras estações de concreto, estas dispõem de balanças e peneiras para os materiais. A diferença é a saída do concreto, já que na outra seria lançado em pequenos silos que eram transportados pelas pontes rolantes, e nestas o concreto já passa por esteiras rolantes seguindo para máquinas à jusante.
- Nestas outras máquinas receberão forma e prensagem em 4.1 e 4.2, e todo concreto que possa sobrar aqui é coletado e reaproveitado enquanto ainda em estado fresco.
- Já moldados, agora seguem para os *pallets* que os aguardam, onde ficarão estocados.
- Com as peças oriundas das duas estações estocados, funcionários irão eliminar aquelas que estiverem defeituosas e envelopar as demais, identificando-as conforme seu lote e características.
- Alguns dos blocos prontos serão selecionados para análises, que se repetirão após 7, 14 e 28 dias da fabricação, de modo a diminuir a variabilidade das séries e poder identificar possíveis falhas.
- As produções diárias ficarão aguardando transporte para entrega, que dependerá somente da disponibilidade dos caminhões no dia.

5.4 ANÁLISE DA PRODUÇÃO DE UM MODO GERAL

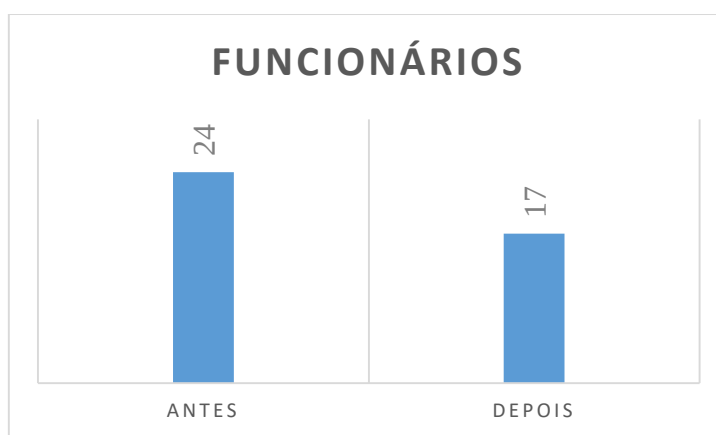
A partir da entrevista aplicada no estudo, percebeu-se que a empresa recebeu modernização recente, abandonando métodos arcaicos antigos por um incremento pesado de máquinas e tecnologias que lhes trouxeram maior eficiência, qualidade do produto final bastante superior, menor variação nas séries, menos avarias e possibilidade de remanejamento de funcionários de setores onde estavam ociosos.

As principais novidades introduzidas pela empresa foram:

- Máquinas de corte e dobra de aço;
- Empilhadeiras, caminhões, caminhões “*munk*” e escavadeiras para transporte de materiais;
- Estações de concreto;
- Pontes rolantes;
- Novas fôrmas.

A partir dos gráficos a seguir, podemos ver em números o impacto que essa modernização trouxe à fábrica, especificamente no setor de produção de postes de distribuição de energia. Inicialmente, no Gráfico 1, nota-se que houve uma redução de 24 funcionários operando para a produção diária de postes (considerando uma produção mínima de 80 postes por dia) para 17. Ou seja, somente considerando o setor de postes, tivemos que 7 funcionários puderam ser remanejados para outras funções, tendo em vista que nesta estariam ociosos.

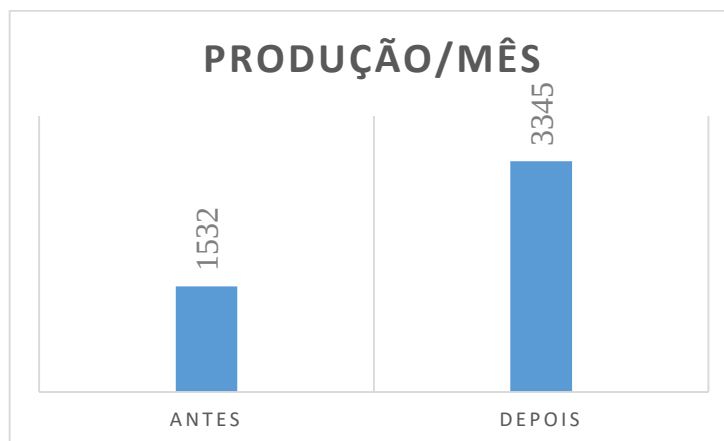
Gráfico 1 – Redução de funcionários devido à modernização



Fonte: Autoria própria (2017)

Esta redução representa 29,17% a menos de funcionários no setor em relação ao processo anterior, fazendo com que o procedimento agora fique mais mecanizado, e, consequentemente, mais produtivo e enxuto.

Gráfico 2 – Aumento de produtividade devido à modernização



Fonte: Autoria própria (2017)

Esse ganho de produção é facilmente percebido no Gráfico 2, onde observa-se um salto de 1532 postes produzidos por mês no processo anterior, indo para 3345 após a chegada das novas máquinas e tecnologias aplicadas, refletindo em um aumento de 118,34% em cima da produção anterior. Ou seja, no mesmo setor produtivo e com menos funcionários, foi possível mais do que dobrar a produção mensal, possibilitando que a empresa passasse a atender outra concessionária de energia do mesmo porte da que já solicitava seus serviços antes.

5.5 CONFORMIDADE DOS PROCESSOS COM OS PENSADORES

Destacando os 5 conceitos fundamentais a uma produção Lean, propostos por Womack e Jones, tem-se a seguinte análise dos processos da empresa frente a estes:

Tabela 3 – Comparando conceitos e realidade prática

Conceitos Lean	Realidade em fábrica
Especificar valor	Este ponto é atendido nos postes, quando se fala das duas principais empresas consumidoras de seus produtos, tendo em vista a produção de postes ser voltada para elas quase que por completa. Porém, quando outros clientes buscam estes produtos, costumam remanejar alguns já produzidos, com seguinte reposição, interferindo no valor oferecido a estes clientes. Já nos blocos, é possível já que há pouca formação de estoques, sendo as produções já voltadas para clientes próximos.
Cadeia de valor no processo	As armaduras pesam negativamente na cadeia das peças armadas por ser um processo com pouca automatização, observando desde o estoque do aço, passando pelo corte e dobra, seguido por outro estoque, montagem e desmontagem nas fôrmas. São processos com pouca mecanização e que interferem significativamente no processo.
Criar fluidez na linha produtiva	O excesso de transportes manuais e estoque faz com que haja grande deficiência quanto ao fluxo de valor, gerando muito tempo de espera entre os setores. Nos

	blocos isso é um pouco melhor, já que, por não ter armaduras, exige menos do que as demais peças e o processo flui melhor.
Produção puxada pela necessidade dos clientes	Como os pedidos para postes e galpões requerem longos prazos, nestes acaba por gerar estoques excessivos que são transportados em grandes quantidades. Nos blocos a produção consegue ser puxada uma vez que os processos são mais rápidas e os prazos para entrega são curtos, correspondendo basicamente ao fim da cura das peças, sobretudo em períodos de alta demanda, como finais de ano.
Gerenciar rumo à perfeição	A busca pela perfeição passa pela intenção dos contribuintes, a mecanização do sistemas e também por quanto se puxa o processo, já que produzir cada vez mais apenas para aumentar os estoques será ineficiente, antes disso será necessário repensar as fôrmas de pedido e entrega de materiais.

Fonte: Autoria própria (2017).

5.6 MELHORIAS A SEREM IMPLEMENTADAS

O primeiro e principal ponto que requer mudança é o costume da estocagem de materiais, onde se produz mais do que se necessita no momento, visando manter estoque. Muito trabalho fica inoperante quando grandes quantidades de armaduras ou peças já prontas ficam estacionadas no pátio entre os galpões, aguardando transporte, além de muito espaço que poderia ser utilizado para outros fins ter de ser ocupado por peças prontas que ficarão expostas às intempéries por longos período, sem receber cura adequada e se desgastando com o tempo. É necessário que os setores sejam interligados como cliente e fornecedor, de acordo com o *just-in-time*, onde só saia de produção de um setor o que o seu posterior esteja necessitando, isso com um fluxo contínuo.

Essa mudança necessitará de um envolvimento completo dos funcionários e da conscientização do pensamento a longo prazo. O *kanban* será muito útil para este fim, promovendo maior controle da produção e melhorando a fluidez dos processos. Isto também solucionará o problema do transporte, que também requer melhorias, já que no processo atual há muita pausa entre os processos para que operários reloquem insumos de um local a outro.

Alternativas como as pontes rolantes de concreto já adotadas em alguns dos setores agilizam bastante este transporte.

No setor de peças pequenas diversas, os processos não foram beneficiados pela modernização que os principais setores receberam. Lá, ainda se produz o concreto em betoneiras, sem nenhum controle tecnológico de qualidade, as fôrmas costumam ser improvisadas e o acabamento das peças é completamente manual. É necessário, portanto, que esse avanço chegue também a este setor, o que poderá viabilizar ainda uma produção voltada para estruturas residenciais e prediais neste galpão, já que a empresa está focada apenas nas estruturas para concessionárias de energia elétrica.

Todas as peças recebem números e letras que, aplicados sobre o concreto fresco, deixam as marcas representando a empresa e os lotes de fabricação, e estas são utilizadas uma a uma, fazendo com que se torne uma marcação lenta e sujeita a imperfeições estéticas. Para isso, será solução a utilização de pequenas fôrmas de encaixe desses símbolos, onde serão facilmente montadas e inseridas por igual no concreto para marcação.

As produções oscilam bastante ao longo de um ano. Os postes e galpões, por exemplo, são caracterizados por prazos longos de negociação seguidos por outros grandes intervalos de tempo para entrega. Deste modo, é comum que nos finais de ano as produções diminuam significativamente, tendo em vista que as concessionárias estarão negociando contratos para o ano seguinte. Por outro lado, neste mesmo período do ano os blocos aumentam significativamente a demanda, graças a clientes que costumam construir ou reformar nestas épocas, e o setor produtivo deles costuma não atender a esse crescimento significativo de demanda, sendo comum grandes atrasos para entrega. Sendo assim, será de grande valia, para estes períodos, promover pequenas adaptações nas centrais de concreto dos postes, adicionando também mais fôrmas dos blocos, viabilizando a virada de produção nestes setores, aproveitando todo o maquinário e funcionário que fica parado. Será uma mudança bastante viável e interessante, ainda que seja construído um galpão auxiliar com outras estufas, tendo em vista que, segundo informações de entrevista, essa variação na demanda dura cerca de 3 meses, o que corresponde a 25% do ano.

Outra solução será levar a armação (incluindo a dos postes de transmissão e circulares, feita em local improvisado entre o galpão de produção destas postes e áreas de estoque), para um galpão único, localizado no meio destes galpões de produção, de modo que tenha saídas diretas para ambos.

6 CONCLUSÕES

A pré-fabricação, apesar de uma prática antiga, apenas nas últimas décadas passou a receber o incremento tecnológico necessário para se tornar um processo industrial. Esta racionalização dos processos, proporcionada pela industrialização, contribuirá para um aumento do nível organizacional do sistema, e é através dela e da aplicação de tecnologias cada vez melhores e mais atualizadas, de técnicas de planejamento e controle, e de metodologias consagradas de produção que a atividade construtiva poderá avançar.

Uma correta aplicação das ferramentas *lean*, visando o longo prazo, pode ser imprescindível para este fim. Este sistema, já consagrado em processos altamente mecanizadas e com elevados níveis de controle, como é o caso da indústria automobilística, pode ter suas ferramentas aproveitadas também para processos menos eficientes, como é o caso dos pré-moldados, que, por ainda ser uma indústria recente, terá muito a crescer e se atualizar nas próximas décadas, mas já hoje é um dos meios mais eficientes na busca pela construção mais enxuta e sustentável.

A importância dessa modernização dos processos, industrializando a construção civil, pôde ser evidenciada nesse estudo, quando o incremento de máquinas a processos semelhantes aos comumente feitos em obras tornou o mesmo procedimento muito mais eficiente e produtivo. Ainda assim, fica evidente o quanto a indústria da construção civil, por mais que mecanizada, ainda se encontra longe do pensamento *lean*. Algumas sugestões para melhoria dos processos puderam ser pensadas para a empresa do estudo de caso, podendo ser destacados a eliminação dos estoques e transportes manuais excessivos, tornando os setores mais dependentes entre si com fluxos mais contínuos, a virada da produção dos postes para blocos nos fins de anos (sendo uma opção mais viável e interessante do que aumentar o setor dos blocos só para estas épocas) e também que a modernização que beneficiou os demais setores chegue ao de peças menores, podendo dar mais atenção às peças estruturais e de fundação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado**. Rio de Janeiro, 2006.

ACKER, A. V. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Tradução: Marcelo Ferreira. Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2003.

ABCIC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO. Disponível em: <<http://www.abcic.org.br/>>. Acesso em 20 jul. 2017.

BASTOS, B. C.; CHAVES, C. C. Aplicação de lean manufacturing em uma linha de produção de uma empresa do setor automotivo. In: IX SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. **Anais...** Curitiba: Associação Educacional Dom Bosco, 2012.

CAMPOS, P. E. F. de. **Sem restrições tecnológicas os pré-fabricados devem romper obstáculos culturais**. Texto extraído da página do Prof. Luis Fernando de Ávila Santos, 2006. Disponível em: <http://www.fernandoavilasantos.kit.net/barreiras_culturais_premoldados.html/> Acesso em agosto de 2017.

CARVALHO, R. C.; PARSEKIAN, G. A.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de; MACIEL, A. M. **Estado da Arte do Cálculo das Lajes Pré-fabricadas com Vigotas de Concreto**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado, São Carlos – nov 2005.

CERQUEIRA, D. **Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil**. Disponível em: <<https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil.html/>> Acesso em: 23 de julho de 2017.

CÉSAR, F. I. G. **Ferramentas básicas de qualidade**: Instrumentos para gerenciamento de processo e melhoria contínua. São Paulo: Biblioteca 24 horas, 2011.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da Administração**: uma visão abrangente da moderna administração das organizações. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e de operações**. Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2012. 446 p.

CORREIA, B. M. **Estudo sobre a implantação de sistema kanban em obras de construção civil de pequeno porte**. 2007. 68 f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação). Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.

DOS SANTOS, C. A. **Produção Enxuta**: Uma proposta de método para introdução em uma empresa multinacional instalada no Brasil. 2003. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

EL DEBS, M. K. **Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações**, 2000. 1º ed. São Carlos: Rima, 2000.

FERREIRA, M. A. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. São Paulo: ABCP/ABCIC, 2003. 129 p.

GHINATO, P. **Produção e Competitividade: Aplicação e Inovações**. Tradução: Adiel Almeida e Fernando Souza. Recife: UFPE, 2000.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente just-in-time**. Caxias do Sul: Educs, 1996. 200 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IGLESIA, T. B. **Sistemas Construtivos em concreto pré-moldado**. 2006. São Paulo. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-33.pdf> Acesso em: 10 Set. 2017.

KATO, R. M.; SERRA, S. M. B. **Execução de Pré-Moldados de concreto considerando aspectos da Segurança e Saúde do Trabalho (SST) segundo a Engenharia de Resiliência (ER)**. In: ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: ANTAC, 2012.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Technical Report, Finlândia, set. 1992.

KRÜGER, G. **Arquitetura Residencial Unifamiliar em Concreto Pré-Moldado**. In: X Semana de Extensão, Pesquisa e Pós-graduação. Porto Alegre: UniRitter, 2014.

LAKATOS, E. M., MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. Atlas: São Paulo, 2010.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Tradução de Lene Belon Ribeiro. Porto Alegre: Bookman, 2005. 316 p.

MAGALHÃES, R. M. et al. **Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro**. Gestão & Produção. São Carlos: Scielo, 2015.

MAGEE, D. **O segredo da Toyota**. Rio de Janeiro: Campus, 2008.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 311 p. Disponível em: http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india. Acesso em: 25 set. 2017.

MARKERT, W. 'Lean production' - uma revolução da forma de produção capitalista? A discussão alemã e internacional, sua implementação no Brasil e consequências para a formação profissional". In: **Educação e Sociedade**, 1994, nº 49, pp. 362-390 (Dezembro).

MONDEN, Y. **Produção sem estoques**: uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota. Tradução de Antonia V. Pereira Costa, et al. São Paulo: Instituto de Movimentação e Armazenamento de Materiais, 1984. 141 p.

MOREIRA, G. P. da S. **Aplicação das Ferramentas Lean. Caso de Estudo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2011.

MÜLLER, C. J. **Modelo de gestão integrando planejamento estratégico, sistemas de avaliação de desempenho e gerenciamento de processos (MEIO – Modelo de Estratégia, Indicadores e Operações)**. 2003. 292f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: . Acesso em: 25 set. 2017.

MUNTE CONSTRUÇÕES INDUSTRIALIZADAS. **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. Coordenação geral: Alex Tort Folch; co-autor: Carlos Eduardo Emrich Melo. São Paulo: Pini, 2004.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção**: além da produção em larga escala. Tradução de Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149 p.

OLIVEIRA, L.A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 191p. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PEDERIVA, P. F. **Comparação de custos envolvidos na construção de pavilhões com estruturas pré-moldadas e moldadas in loco**. Monografia [Graduação em Engenharia Civil] - Ijuí, RS: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2009.

PICCHI, F. A. **Oportunidades de aplicação do Lean Thinking na construção**. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 3, n. 1, p 7-23, jan./mar. 2003.

PIGOZZO, B.N.; SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M.A. A influência dos pré-fabricados em concreto armado no ciclo de industrialização da construção. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. **Anais em CD...** Florianópolis: ENTAC, 2006.

RICCI, M. R. **Sistema Toyota de Produção**: um estudo na linha de produção em uma indústria de confecção de ternos. 2013. 80 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

ROMANEL, F. B. **Jogo “desafiando a produção”: uma estratégia para a disseminação dos conceitos da construção enxuta entre operários da construção civil**. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

SENDEN, H. O. T. **Sistemas construtivos em concreto pré-moldado**. 2015. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M.de A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos pré-fabricados de concreto**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos, nov. 2005.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23 ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007. 304 p.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. Tradução de Eduardo Schaan. Porto Alegre: Bookman, 1996. 291 p.

SPADETO, T. F. **Industrialização na construção civil – uma contribuição à política de utilização de estruturas pré-fabricadas em concreto**. 2011. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

TOKUDOME, M. **A sustentabilidade da indústria de pré-fabricados**. In: 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos, Nov. 2005.

VANSAN, A. P.; LANGARO, E. A. **Ferramentas Lean aplicadas às empresas de construção civil classificadas no modelo LCR**. 2013. 103 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

VOTTO, R. G. **Produção enxuta e teoria das restrições: proposta de um método para implantação conjunta na indústria de bens de capital sob encomenda**. 2012. 294 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing**. Belo Horizonte: WERKEMA Editora, 2006. v. 4.

WOMACK, J. P. **The challenge of value stream management**. In: LEAN ENTERPRISE INSTITUTE VALUE STREAM MANAGEMENT CONFERENCE, 2000, Dearborn, MI. **Proceedings...** Dearborn, MI: Lean Enterprise Institute, 2000.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. Tradução: Ivo Korytowski. 11ª ed. São Paulo: Campus, 1992.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas: Elimine o Desperdício e Crie Riqueza**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.