



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**PEDRO HENRIQUE SOARES DA SILVA E PEDRO HENRIQUE
CAVALCANTI VIANA**

**Aplicações da *LEAN CONSTRUCTION* em obras metálicas
estudo de caso na Região Metropolitana do Recife (RMR)**

RECIFE, 2022

PEDRO HENRIQUE SOARES DA SILVA E PEDRO HENRIQUE CAVALCANTI VIANA

**Aplicações da *LEAN CONSTRUCTION* em obras metálicas estudo de caso na
Região Metropolitana do Recife (RMR)**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Eng. Antônio Nunes Barbosa Filho

RECIFE, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

HENRIQUE SOARES DA SILVA, PEDRO .

Aplicações da LEAN CONSTRUCTION em obras metálicas - estudo de caso na Região Metropolitana do Recife (RMR) / PEDRO HENRIQUE SOARES DA SILVA, PEDRO HENRIQUE CAVALCANTI VIANA. - Recife, 2022.

62 : il., tab.

Orientador(a): ANTONIO NUNES BARBOSA FILHO

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil - Bacharelado, 2022.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Estruturas metálicas. 2. Filosofia Lean. 3. Lean Construction. I. HENRIQUE CAVALCANTI VIANA, PEDRO. II. NUNES BARBOSA FILHO, ANTONIO . (Orientação). III. Título.

620 CDD (22.ed.)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**PARECER DA COMISSÃO DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

PEDRO HENRIQUE SOARES DA SILVA E PEDRO HENRIQUE CAVALCANTI VIANA

**Aplicações da *LEAN CONSTRUCTION* em obras metálicas estudo
de caso na Região Metropolitana do Recife (RMR)**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Construção Civil

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera os
candidatos PEDRO HENRIQUE SOARES DA SILVA E PEDRO HENRIQUE CAVALCANTI VIANA
APROVADOS COM NOTA _____. Recife, 14 de novembro de 2022.

Prof. Dr. Eng. Antônio Nunes Barbosa Filho (Orientador)

Prof. Dr. Tibério Wanderley Correia de Oliveira Andrade (Examinador I)

Profa. Dra. Paula Suemy Arruda Michima (Examinador II)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter nos capacitado, conduzido e fortalecido para chegarmos até aqui e concluído nosso objetivo. Aos nossos familiares, em especial, nossos pais, Inaldo Cavalcanti Viana, Wilka Martinele Lopes das Neves, Nivaldo Soares da Silva e Sandra Maria da Silva por ter segurado em nossas mãos quando mais precisávamos, por todo apoio e encorajamento para encerrarmos essa etapa tão importante em nossas vidas com êxito.

Particularmente, a Gabriela Santos, minha esposa e companheira de todas as horas. Ao nosso orientador, Dr. Antônio Nunes Barbosa Filho, por todo empenho, dedicação, sugestões e críticas que enriqueceram o nosso trabalho. Aos nossos professores, por todo ensinamento e disposição que contribuíram em nossa trajetória. Aos nossos amigos que nos apoiaram, incentivaram e celebraram, especialmente aos que compartilharam conosco a árdua jornada da graduação, Maria Clara de Andrade, Matheus Ascoli e Nayrlla Santos.

RESUMO

A Construção Civil representa um dos setores mais importantes da economia do país, apesar do índice de desperdícios de materiais, atraso nos cronogramas de obra e baixa produtividade. Como uma das principais fontes no crescimento econômico/produção, mesmo com um cenário econômico desfavorável, um dos conceitos primordiais a serem adotados de forma mais abrangente nas empresas do setor, é a filosofia *Lean Construction*. Esta obteve sua origem a partir da adaptação dos conceitos estabelecidos pelo Sistema Toyota de Produção (STP). Em justificativa dessa pesquisa/estudo, pois tendo em vista que os princípios da filosofia *Lean Construction* defendem a redução dos processos que não agregam valor, diminuição dos desperdícios, assim como os custos de construção e as estruturas metálicas possuem diversas vantagens em que a aplicação da filosofia *Lean Construction* pode maximizar esses princípios.

Tendo como cenário a região Metropolitana do Recife (RMR), o objetivo desta dissertação consiste em elaborar um novo questionário para avaliação do desempenho e aplicabilidade dos 11 princípios da filosofia *Lean Construction*, em empresas que utilizam do sistema de construção em estruturas metálicas, na área de Construção Civil para que as mesmas, possam estabelecer planos de ações focados nos princípios que obtiveram menor percentuais de desempenho, assim como, estabelecer ações para manter os princípios que obtiveram os maiores percentuais de desempenho.

Como metodologia, foi utilizado o método em que consiste realização de pesquisa bibliográfica a respeito do tema, realização de um estudo de caso, onde foi analisado o questionário da dissertação de Carvalho (2008), elaboração de um novo questionário a partir das observações feitas pelos autores.

Palavras-chave: *Lean Construction*, Filosofia *Lean*, Princípios *Lean Construction*, Questionário e Estruturas Metálicas,

ABSTRACT

Civil Construction represents one of the most important sectors of the country's economy, despite the rate of waste of materials, delays in construction schedules and low productivity. As one of the main sources of economic growth/production, even with an unfavorable economic scenario, one of the main concepts to be adopted in a more comprehensive way in the companies of the sector is the Lean Construction philosophy. This philosophy originated from the adaptation of the concepts established by the Toyota Production System. In justification of this research/study, since the principles of the Lean Construction philosophy advocate the reduction of processes that do not add value, reducing waste, as well as the costs of construction and steel structures have several advantages in which the application of the Lean Construction philosophy can maximize these principles.

Having as scenario the Metropolitan Region of Recife, the objective of this dissertation is to develop a new questionnaire for evaluating the performance and applicability of the 11 principles of Lean Construction philosophy in companies that use the system of steel structure construction in the area of Civil Construction so that they can establish action plans focused on the principles that obtained lower percentages of performance, as well as establish actions to maintain the principles that obtained the highest percentages of performance.

As methodology, it was used the method which consists in the accomplishment of bibliographical research about the theme, accomplishment of a case study, where it was analyzed the questionnaire of Carvalho's dissertation (2008), elaboration of a new questionnaire from the observations made by the authors.

Key words: Lean Construction, Lean Philosophy, Lean Construction Principles, Questionnaire and Metallic Structures.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Justificativa e motivação	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Filosofia <i>Lean</i> (Contexto histórico).....	16
2.2. <i>Lean Construction</i>	17
2.3. Construções metálicas (contexto histórico).....	20
2.3.1. Construções metálicas em Recife	25
2.3.2. As Estruturas Metálicas	27
2.3.3. Classificação das estruturas de aço	28
2.3.4. Vantagens da utilização de estruturas de aço.....	32
2.4. Vantagens competitivas das estruturas metálicas	35
3. METODOLOGIA	37
3.1. Objetivos gerais	38
3.1. Escala de classificação	38
4. RESULTADOS.....	43
5.1 Análise por princípio.....	43
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	44
6.1. Conclusões sobre o questionário.....	46
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXO I	50
ANEXO II	56
ANEXO III.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Os pilares do STP	17
Figura 2 - Princípios da Lean Thinking	Erro! Indicador não definido.
Figura 3 - Fluxograma Lean.....	18
Figura 4 - Processo produtivo (modelo de construção)	19
Figura 5 - Novo modelo de construção	19
Figura 6 - Ponte em Coalbrookdale	20
Figura 7- Ponte em pênsil de Menai	21
Figura 8 - Ponte Britttania.....	21
Figura 9 – Processo de Siemens-Martin 1.....	22
Figura 10 - Ponte de Eads	23
Figura 11-Edifício Home Insurance Building durante a construção e finalizado	24
Figura 12 – Ponte D. Pedro II	24
Figura 13 - Teatro Santa Isabel	25
Figura 14 - Mercado de Casa Amarela	26
Figura 15 - Mercado São José.....	26
Figura 16 - Faculdade de Direito do Recife	27
Figura 17 – Níveis de classificação do questionário.....	39
Figura 18 – Gráfico Radar de Preenchimento.....	42
Figura 19 – Resultado da avaliação com engenheiros	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propiedades do aço	30
Quadro 2 – Configurações do aço.....	31
Quadro 3 - Vantagens das estruturas de aço	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa do peso da estrutura metálica por tipo de edificação	33
Tabela 2 - Distribuição da quantidade de questões entre categorias por cada princípio da lean construction.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3 – Visão geral dos resultados em porcentagem por engenheiro	43

LISTA DE SIMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BIM- *Building Information Modeling*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LP – *Lean Production*

NBR - Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas

PIB - Produto Interno Bruto

TPS - *Toyota Production System*

RMR – Região Metropolitana do Recife

STP – *Sistema Toyota de Produção*

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais importantes da economia de um país em desenvolvimento como o Brasil. Isso ocorre pelo fato de que se trata de um grande empregador de mão-de-obra, responsável por impactar o Produto Interno (PIB), gerador de milhões de empregos e além disso, grande parcela do que é investido em construção civil no Brasil retorna como PIB, emprego, imposto e renda. Prova disso são dados da Pesquisa Anual da Indústria da Construção (Paic) 2019, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mostra que no ano de 2019 o setor da construção civil totalizou R\$ 288 bilhões de reais, sendo R\$ 273,8 bilhões em obras e serviços de construção e R\$ 14,2 bilhões em incorporações. Além disso, em termos de estabelecimentos (dado que inclui empresas e filiais), no Brasil, a construção civil conta com 176 mil estabelecimentos, o que representa 34% do total da indústria. Em termos de emprego, o segmento gera 2,6 bilhões de vagas, 24% do total.

Entretanto, a construção civil historicamente registra um elevado índice de desperdícios de materiais, falta de produtividade e prazos que não são atendidos, isso faz com que esses gargalos funcionem como um efeito de bola de neve, influenciando diversas outras atividades em um canteiro de obras. Miller et al (2009) estima que 50% de todo capital aplicado na construção civil, em escala mundial, é desperdício. Picchi (1993) aponta que no Brasil, este número gira em torno de 30%. Diante desse cenário de impacto econômico e elevadas taxas de desperdícios, surgem diversas filosofias, tais como a *Lean Construction*, que possuem vastas aplicações práticas em construções industrializadas.

A filosofia *Lean* surgiu no Japão com Taiichi Ohno, engenheiro da Toyota. Logo após a segunda guerra mundial surge a necessidade de trabalhos menos onerosos, com isso, fez-se necessário desenvolver um modelo que pudesse sanar os problemas encontrados na época, tais como desperdício de materiais, atrasos nas obras, dentre outros. A partir disso, surge a linha de pensamento baseada na redução de custos e processos e no aumento da produtividade. Por fim, a filosofia *Lean* vem sendo difundida na construção civil aos longos dos anos com o principal intuito de aumentar a eficiência, reduzir os custos e prazos, e com isso obter agilidade na solução de problemas de maneira sistemática. Através disso, Lauri Koskela em 1992, adaptou essa filosofia *Lean* para a construção civil, criando assim, a *Lean Construction*.

Aliado a isso, a filosofia *Lean* utiliza de ferramentas e conceitos adaptados para o setor da construção civil, que elevam significativamente a produtividade, eficiência e qualidade, além de alavancar diversas iniciativas de inovação tecnológica, como BIM, digitalização e industrialização, além de que traz uma mudança na indústria toda e eleva a competitividade, desenvolvendo pessoas, lideranças e o sistema de gestão. Este tipo de sistema construtivo busca a aplicação de materiais, mão-de-obra, meios de transporte e técnicas construtivas de forma racional e mecanizada, objetivando aumento de produtividade e qualidade (ORDONEZ, 1974).

Nesse contexto, esse estudo busca relacionar os princípios da *Lean Construction* aplicados em construções metálicas, visto que as estruturas metálicas e seus sistemas associados apresentam potencialidades (rapidez construtiva, leveza, melhor aproveitamento do espaço útil e menor desperdício) e se apresentam como uma alternativa à industrialização, mas como qualquer outro sistema construtivo, também apresenta deficiências nos processos de projeto e de produção. Para Araújo (2017), o processo de produção das estruturas metálicas e mistas apresenta oportunidades de melhoria quanto à qualificação do trabalho, à produtividade e aos prazos de obras. Porém, quanto ao processo de produção de construções metálicas, o mesmo autor destaca que existem diversas fraquezas no setor que são elas: carência de mão-de-obra qualificada, retrabalho e desperdício de material. Ou seja, tanto no processo de projeto quanto no processo de produção é necessário utilizar de técnicas de gestão para que os problemas sejam corrigidos e otimizados.

Por conseguinte, nota-se que apesar das diferenças no ambiente de produção de estruturas metálicas e no setor da construção civil, a competência em planejamento, em execução e controles eficazes de produção são fundamentais para a implementação da filosofia *Lean Construction*. Contudo, isso não basta, já que toda a empresa e a sua cadeia de valor precisam passar por mudanças profundas na forma de pensar e agir, exigindo o estabelecimento de cultura *Lean*. Os processos, práticas, atitudes e valores têm que ser orientados para a busca da máxima eficácia e fluxos contínuos, com tolerância zero aos desperdícios (de tempo, pessoas e recursos), buscando o menor *lead time* (tempo entre o pedido do cliente e a entrega do produto a ele) e uma operação que se enquadre no conceito *just-in-time* (sistema de administração da produção em que tudo deve ser produzido, transportado ou comprado na hora exata, reduzindo estoques e os custos), (OLIVEIRA, 2022).

1.1. Justificativa e motivação

Como apresentado anteriormente, a construção civil possui grande impacto na economia do Brasil, sendo responsável por movimentar o desenvolvimento econômico e funcionando como termômetro de crescimento ou recessão da economia brasileira. Prova disso, é que segundo o Estadão, em 2019 a construção civil representava 6,7 milhões de postos de trabalho. Isso era o equivalente a 7,3% de todos os empregos no Brasil. Diante disso, faz-se necessário a implementação de metodologias adequadas da *Lean Construction* para que se possa potencializar os ganhos em produtividade, lucratividade e redução dos desperdícios através da exclusão de atividades que não agregam valor a empresa.

Duarte (2015) destacou a importância da filosofia *Lean Construction* em termos econômicos, pois a partir do momento em que empresas conseguem aplicar a filosofia e os princípios da *Lean Construction*, de forma consistente, estas executarão suas obras de uma maneira mais racionalizada, ou seja, com uma menor quantidade de desperdícios potencializando os ganhos das empresas e reduzindo os custos.

Segundo Carvalho (2008), para uma melhor aplicação da filosofia *Lean Construction*, há a necessidade de conhecer o estado atual das empresas em relação ao nível de implementação dessa filosofia. Isso acontece pois com essas informações, é possível que essas empresas estabeleçam metas e planos de ações em seus empreendimentos.

Diante disso, esse trabalho propõe-se a elaborar um amplo estudo na bibliografia da filosofia *Lean* e elaborar um questionário que irá servir como ferramenta para identificação e avaliação de desempenho de como está o nível de aplicabilidade dos onze princípios da Construção Enxuta nas empresas que utilizam do método construtivo “estruturas metálicas” e atuam na área da construção civil na Região Metropolitana do Recife (RMR), para que com esses resultados, as empresas possam identificar as suas deficiências e planejem metas para que obtenham sucesso na implementação das práticas da *Lean Construction* em seus processos construtivos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

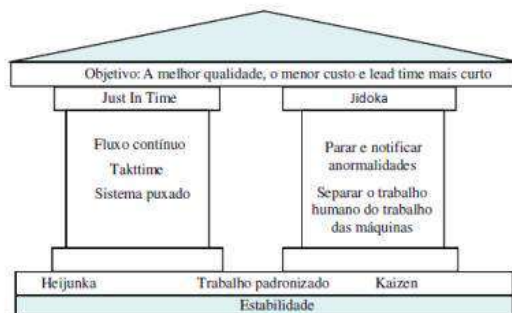
2.1. Filosofia *Lean* (Contexto histórico)

A produção enxuta foi inserida pela *Toyota Motor Company* no século XX sendo apresentada como um novo modo de produção visando produzir produtos com qualidade e com um baixo custo, com o intuito de eliminar os desperdícios que pudessem ter sido gerados. (SCHLUNZEN JUNIOR, 2003). Com o fim da guerra e o Japão acabando saindo derrotado, em 1945 marcou um novo tempo para a Toyota. Como a situação em que o mercado japonês não era favorável, a Toyota teve que mudar a sua estrutura, ou seja, reavaliar e mudar o seu modo de produção (CORRÊA; CORRÊA, 2004). Por conta deste cenário, ficou claro que as ideias que antes estavam sendo executadas não seriam úteis o suficiente para gerar uma produção desejada. Com isso, nasce as filosofias e técnicas da *Lean Production*, liderada por Taiichi Ohno.

Segundo Hopp & Spearman (2000) essa jornada de inovação da Toyota começou quando o presidente Toyoda Kiichiro exigiu que a companhia alcançasse o nível da indústria americana em três anos, ou então não sobreviveria. A economia japonesa estava debilitada pela guerra, a produtividade da mão-de-obra era equivalente a 1/9 da americana e atuava em uma produção automotiva modesta. Os gerentes reconheceram que o único caminho para diminuir a distância enorme de produtividade entre os dois países era através da eliminação de desperdício e diminuição dos custos. Outra alternativa encontrada foi que a estratégia tinha que possibilitar a produção de vários modelos em quantidades pequenas. Dessa forma, o principal desafio do controle de produção era conseguir obter o fluxo produtivo atendendo à variedade de mix de produtos. Tudo isso evitando o desperdício e eliminando estoques. Assim, entre os anos 40 e 70, a Toyota implementou o Just in time e automação, estratégias que tornaram a Toyota uma das maiores fábricas automobilistas do mundo nos anos 90.

Sendo o *Just in time* e o *jidoka* (automação) os pilares do STP (Sistema Toyota de Produção), com eles visando eliminar os desperdícios que poderiam ser gerados. Segundo Staats, Brunner e Upton (2011), Just in time significa que, em um processo de fluxo, os recursos necessários alcançam à linha de montagem no momento certo e na quantidade necessária. Ou seja, com esse método sendo executado, o estoque ele não existiria, o que seria perfeito levando em consideração a gestão da produção.

O termo jidoka é japonês que para a LP (*Lean Production*) significa: “Automatização com um toque humano, com inteligência humana”. Sua aplicação leva as máquinas e os seus devidos operadores a detectar quando anomalia e, com isso, interromper o trabalho.



Fonte: Mota e Alves (2008).

Figura 1- Os pilares do STP

Dessa forma, o sistema enxuto de produção tem por objetivos a entrega com alto padrão de qualidade, assim como um custo baixo e em um tempo reduzido. Com isso, esse sistema precisa ser organizado de forma que as metas sejam realizadas. (MOTA; ALVES,2008).

2.2. Lean Construction

A *Lean Construction* surgiu depois do *Lean Manufacturing* ganhar total aceitação nas indústrias manufatureiras ocidentais, onde foram apresentadas diferentes explicações e perspectivas a partir do estudo de Lauri Koskela, no ano de 1992 (GAO; LOW, 2014). Koskela (1992) que fez a adaptação dos princípios da manufatura para a construção. Aliado a isso essas mudanças que foram realizadas da *Lean manufacturing para a Lean construction, podem ser vistas através do fluxograma que foi elaborado por Bo e Stephen (2008)*, onde parte desde o princípio dos conceitos de gerenciamento do “Fordismo” e “Taylorismo” até a *Lean Construction* apresentado na figura abaixo.

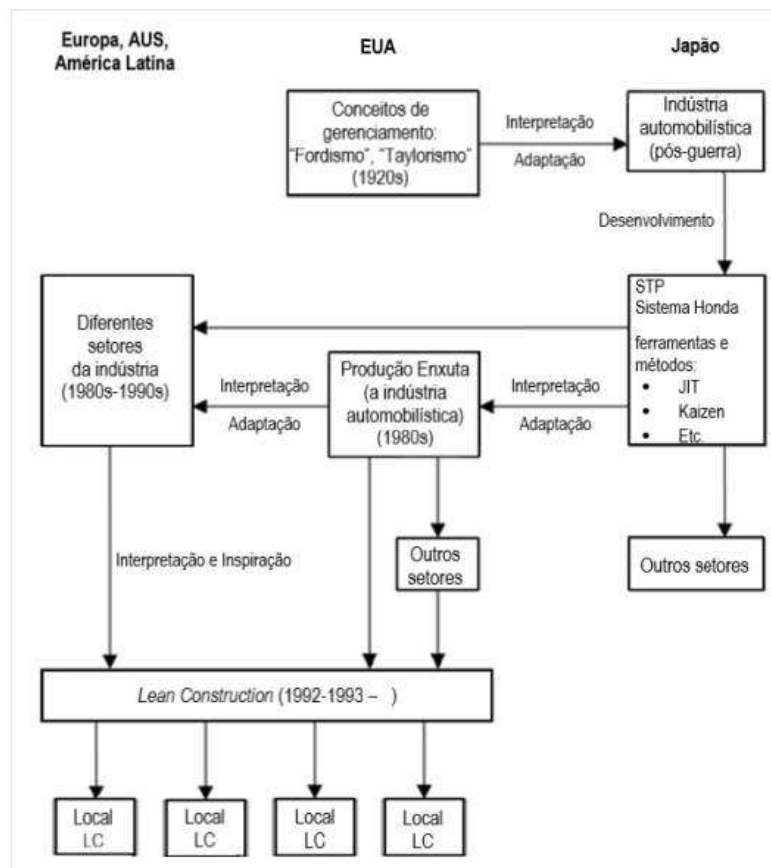


Figura 2 - Fluxograma Lean

Fonte: Adaptado de Bo e Stephen (2008)

Segundo Womack (2004), a *Lean Construction* é a ocidentalização do STP, onde utiliza dos seus princípios para eliminar os desperdícios, aumentar a sua eficiência e nas suas ferramentas, por exemplo, *just-in-time*. O pensamento **Lean** na construção é a realização de aumentar o valor para o cliente e reduzir ao máximo os desperdícios na entrega (BERTELSEN, 2004).

No âmbito da construção, a produção é por projeto, com equipes temporárias alocadas em projetos e clientes diversos, com tarefas que são dependentes de trabalho, o que torna um grau mais elevado de cuidado ao implementar os princípios *Lean* as peculiaridades do setor (ALVES *et al.*, 2014). Mesmo com essas características as equipes que realizam as obras devem compensar essas características da construção civil buscando uma comunicação e colaboração contínuas, focando no objetivo comum, gerar valor ao cliente, em vez de visar suas prioridades e necessidades individuais.

Koskela (1992) explica que o modelo de construção convencional é baseado em atividades de conversão, onde entram as matérias primas que passam por um

processo produtivo e geram um produto final. A fase do processo pode ser ilustrada por seus sub processos, que são analisados individualmente, como podemos ver na figura abaixo.



Figura 3 - Processo produtivo (modelo de construção)

Fonte: Koskela (1992)

Por outro lado, a *Lean Construction* se dá pela aplicação de uma nova forma de gerenciamento de produção à construção, o que inclui as atividades de fluxo (KOSKELA, 1992; FLUMERFELT, *et al.*, 2013).

Koskela (1992) descreve que no novo modelo de construção devem ser consideradas todas as atividades de fluxo, como exemplificado na Figura abaixo. As atividades de fluxo (movimento, espera, inspeção, entre outras) podem estar no processo ou entre eles e independentemente devem ser consideradas e analisadas. Essas tarefas retratam as atividades que não agregam valor.



Figura 4 - Novo modelo de construção

Fonte: Koskela (1992)

Diante disso, fica evidente que o processo deve ser visto como um todo, não apenas atividades isoladas (FLUMERFELT, *et al.*, 2013). Nos estudos realizados pelo Instituto de Construção *Lean* (2004) foi apresentado que no setor de fabricação no segmento de manufatura, apenas 12% da produção é considerado desperdício, enquanto na Construção Civil o percentual de desperdício é de 57%, ou seja, mais da metade da produção está sendo voltados para atividades que não agregam valor ao processo.

Para eliminar desperdícios na construção Flumerfelt, *et al.*, (2013) explicam que o conceito de desperdício pode ser entendido como as ações junto ou não do uso de recursos que são necessários para entregar um produto ou serviço ao cliente.

A eliminação de desperdícios e a melhoria do fluxo de trabalho e da produtividade nos canteiros de obras pode ser melhorados através de planejamentos compostos pela prevenção e uso de sistema de controle de produção adequados (GURIEV; SACKS, 2014).

2.3.Construções metálicas (contexto histórico)

As estruturas metálicas têm sido usadas desde o século XII, na forma de tirantes e pendurais de ferro fundido, que funcionavam como elementos auxiliares em estruturas de madeira. No século XVI tornaram-se comuns as estruturas de telhado em ferro fundido, com sistemas estruturais pouco racionais, uma vez que nessa época a análise estática encontrava-se em fase inicial de desenvolvimento. No final do século XVIII começaram a ser construídas cúpulas de igrejas e pontes. As pontes possuíam vãos em arco ou treliçados, com elementos de ferro fundido submetidos à compressão. A primeira dessas pontes, datada de 1779, situa-se em *Coalbrookdale*, sobre o Rio Severn, na Inglaterra, e possui arcos de ferro fundido vencendo um vão central de 30 m.



Figura 5 - Ponte em Coalbrookdale

Fonte: CEAM - UFMG

Na primeira metade do século XIX o cálculo estrutural passou por notável progresso, surgindo os sistemas estaticamente lógicos. Além disso, teve início a laminação de perfis, o que possibilitou a produção industrializada de componentes estruturais de ferro laminado. A ponte pênsil de Menai, em Gales, com vão central de 177 m, finalizada em 1826, ilustra bem esse período, no qual, também, começaram a ser construídos edifícios industriais em estrutura metálica.



Figura 6- Ponte em pênsil de Menai

Fonte: CEAM - UFMG

Com o advento da tração a vapor e a construção da primeira ferrovia, em 1827, a estrutura metálica passou a ser usada nas estações de passageiros e nas novas pontes. Um exemplo notável é a Ponte Britania, concluída em Menai em 1850. O tabuleiro era formado por duas vigas contínuas de seção fechada retangular, com vãos de 70 m, 140 m, 140 m e 70 m, respectivamente, cada uma conduzindo em seu interior uma linha ferroviária.

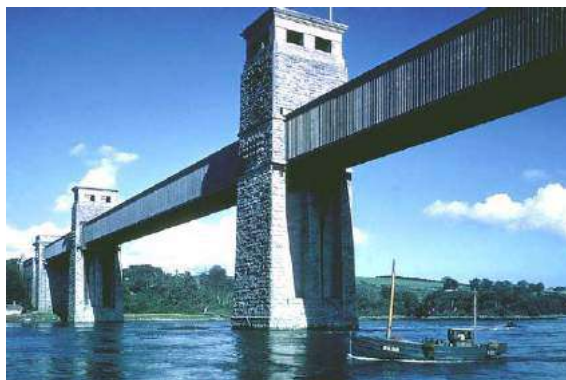


Figura 7 - Ponte Britania

Fonte: CEAM - UFMG

Os primeiros anos do período compreendido entre 1850 e 1900 foram marcados pela construção de diversas pontes ferroviárias. Alguns acidentes ocorridos com essas pontes, no entanto, e o projeto de estruturas cada vez mais arrojadas, tornaram premente a necessidade de se usar um material estrutural de melhores características. Toda a atenção voltou-se então para o aço, já conhecido desde a antiguidade, mas que, por falta de um processo industrial de fabricação, possuía custo muito elevado. Resolvendo esse problema, em 1856, o inglês Henry Bessemer criou um forno que tornou possível, a partir de 1860, a produção de aço em grande escala. Para consolidar essa conquista, foi desenvolvido em 1865 o processo Siemens-Martin, ainda mais eficiente.

O processo de Siemens-Martin, também designado processo de soleira aberta, consiste num processo para a obtenção de aço, idealizado pelo metalurgista francês Pierre Martin e desenvolvido pelo engenheiro e físico Wilhelm Siemens (1823-1883). Resultou da adaptação de um tipo de forno regenerativo a gás, inventado pelo irmão de Wilhelm, o também engenheiro Friedrich Siemens (1826-1904), e utilizado na fabricação do vidro.

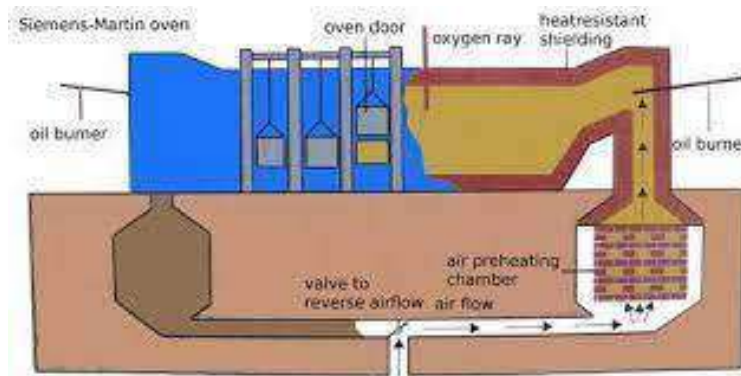


Figura 8 – Processo de Siemens-Martin 1

Fonte: DEMEC - UFPR

A primeira ponte com estrutura de aço foi de *Eads*, sobre o Rio Mississippi, em Saint Louis, Estados Unidos, construída entre 1867 e 1875, com um vão central de 158 m ladeado por vãos de 153 m, todos em arco. Trata-se de uma ponte rodoferroviária, com dois tabuleiros, um sobre o outro.

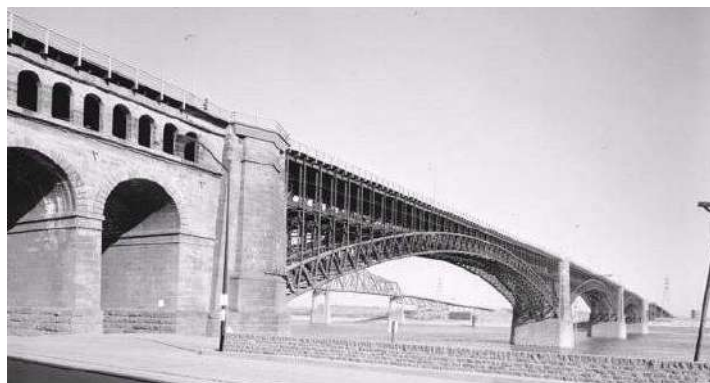


Figura 9 - Ponte de Eads

Fonte: CEAM - UFMG

Diante disso, é possível notar que as estruturas metálicas tem em seu histórico obras que datam do século XII, quando eram utilizadas como tirantes e pendurais, porém, somente por volta de 1750 que foi descoberto a maneira de produzi-las industrialmente. Segundo Santos (2007) Por volta de 1780, na França, foi feito seu primeiro emprego estrutural, na escadaria do Louvre e no Teatro do Palais Royal, e na Inglaterra em 1757, onde se fez a primeira ponte de ferro fundido. Em meados de 1880 nos Estados Unidos, principalmente em Chicago, o aço passou a ser utilizado em grande escala na construção de edifícios de múltiplos andares.

Os edifícios de andares múltiplos em estrutura metálica, ainda utilizando o ferro, começaram a aparecer também no início da segunda metade do século XIX. Em 1885, foi terminada a construção em Chicago, pelo engenheiro Willian le Baron Jenney, do *Home Insurance Building*, um edifício com dez pavimentos e o primeiro do mundo com estrutura de aço. Deve-se salientar que a invenção do elevador, apresentado pela primeira vez por Elisha Graves Otis, em 1853, na Exposição de Nova York, foi fator fundamental para viabilização dos edifícios de andares múltiplos.

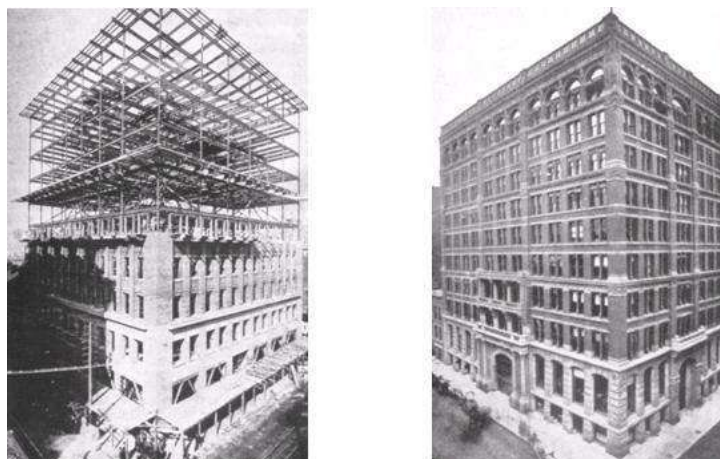


Figura 10-Edifício Home Insurance Building durante a construção e finalizado

Fonte: CEAM - UFMG

No Brasil, acredita-se que a primeira grande obra a utilizar das estruturas metálicas tinha sido a ponte D. Pedro II, localizada em São Félix – BA, por volta do ano de 1885. Sua estrutura é composta de ferro e lastros de madeira importados da Inglaterra e mede 365 m de comprimento e 9 m de largura. Significativa construção para a economia baiana no século XX e uma das principais obras de engenharia da América do Sul à época, a ponte é hoje também um dos cartões postais de Cachoeira.



Figura 11 – Ponte D. Pedro II

Fonte: Google Street View

Por tanto, nota-se que com a crescente evolução do mercado da construção civil industrializada, o aço passou a ser utilizado na forma de estruturas pré-fabricadas, muitas vezes importadas. Desse modo, a aplicação do aço se deu desde a construção de pontes metálicas até os modernos edifícios de andares múltiplos, tornando possível soluções cada vez mais arrojadas e eficientes para diversos tipos de obras.

2.3.1. Construções metálicas em Recife

Em Recife, o método de construção utilizando estruturas metálicas possui registros desde o século XIX. Segundo (BELLEI, 1998) o uso do aço em edificações no Brasil tem como primeiro registro o Teatro Santa Isabel, em Recife, 1850. A ideia de construir um Teatro público no Recife, capital da província, partiu de Francisco do Rego Barros, futuro Conde da Boa Vista, presidente da província de 1837 a 1844. O engenheiro contratado para transformar esse sonho civilizatório em realidade foi o célebre francês Louis Léger Vauthier.



Figura 12 - Teatro Santa Isabel

Fonte: Wikipédia

Já o mercado público de casa amarela, um importante centro comercial que funciona 24 horas por dia e possui significativa importância comercial, econômica, e social não só para os moradores da zona norte do Recife, mas como a cidade de maneira geral, onde é possível encontrar bares, restaurantes e mercearias. Aliado a isso, é mais uma obra histórica do Recife onde utilizou-se de estruturas metálicas. Um dos mais antigos e simbólicos da cidade, o Mercado de Casa Amarela foi inaugurado em novembro de 1930. As estruturas que sustentam a construção foram trazidas de bonde em 1928. Presume-se que o terreno onde o mercado foi erguido tenha sido doado pelo proprietário, senhor Allain Teixeira, naquele mesmo ano. A área originalmente construída é de 817 metros quadrados. Abriga 100 boxes. (Wikipédia, 2021).



Figura 13 - Mercado de Casa Amarela

Fonte: Wikipédia

Uma outra obra histórica a utilizar-se do método construtivo de estruturas metálicas foi o Mercado de São José, assim como o Mercado público de Casa Amarela, tem significativa importância social, econômica e comercial para os moradores de Recife, visto que possui diversos, bares, restaurantes, feiras e mercearias. Inaugurado em setembro de 1875, o Mercado de São José tem arquitetura em ferro típica do século XIX. A inspiração veio do mercado público de Grenelle, em Paris. O projeto, elaborado por encomenda da Câmara Municipal do Recife, provavelmente é de Victor Lenthier, engenheiro da casa, à época. O detalhamento ficou a cargo do engenheiro Louis Léger Vauthier, contratado também para acompanhar a execução das estruturas de metal na França. É um dos monumentos pernambucanos, reconhecido e tombado pelo Patrimônio Histórico. A construção levou mais de dois anos, extrapolando o prazo estipulado para o empreiteiro José Augusto de Araújo. O custo também foi onerado pelas modificações introduzidas por Vauthier, para adequar o empreendimento ao clima tropical.



Figura 14 - Mercado São José

Fonte: Wikipédia

Um outro prédio histórico ao utilizar-se de estruturas metálicas é o prédio da Faculdade de Direito do Recife. Segundo (Ascom UFPE, 2019), no dia 11 de agosto de 1827 nascia, por meio de um decreto imperial, a Faculdade de Direito do Recife (FDR). Instalada, inicialmente, no Mosteiro de São Bento, em Olinda, foi transferida, no ano de 1911, para o prédio de arquitetura eclética, localizado na área central do Recife, onde permanece até hoje. O prédio, tombado pelo Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, foi construído por José de Almeida Pernambuco, ocupando uma área de 3.600 metros quadrados, no centro de uma área ajardinada; seu projeto arquitetônico, eclético, com predominância do estilo neoclássico, é de autoria do arquiteto francês Gustave Varin.



Figura 15 - Faculdade de Direito do Recife

Fonte Jorge Passos Arquitetura

2.3.2. As Estruturas Metálicas

As estruturas metálicas no Brasil são uma tecnologia recente, se comparado a outras partes do mundo, são usadas para substituir materiais convencionais utilizados em vigas, pilares e lajes convencionais, e a escolha do tipo de aço é feita em função de aspectos ligados ao meio ambiente onde as estruturas se localizam; previsão do comportamento estrutural de suas partes, devido à geometria e aos esforços solicitantes; meio industrial com atmosfera agressiva à estrutura; manutenção necessária e disponível ao longo do tempo, dentre outros (BRITO e SILVA, 2016). Apesar disso, segundo (ZACARIAS e GILNEI, 2004) a siderurgia brasileira tem lugar de destaque internacional e as empresas metalúrgicas evoluíram em qualidade e

quantidade de produção, dirigindo sua produção tanto para o mercado interno quanto ao externo.

Em relação aos projetos estruturais metálicos, torna-se imprescindível a compatibilização de projetos em uma obra civil, visto que as estruturas metálicas são produzidas externamente ao ambiente da obra, ou seja, não permitindo que aconteça imprevistos que podem causar grande confusão e atrasos durante a construção. “Nesse sistema construtivo, a compatibilização dos vários projetos que constituem uma obra civil, a coordenação e planejamento interativos das etapas de projeto e execução são fundamentais para o sucesso final do empreendimento”. (SALES; SOUZA; NEVES, 2001, p.1).

De fato, nos dias atuais a adoção efetiva de estruturas metálicas de forma considerável condicionada à inovação no desenvolvimento de sistemas construtivos ou à adaptação de sistemas construtivos racionalizados já existentes. (SALES; SOUZA; NEVES, 2001). O ideal é trabalhar de forma conjunta com os projetos, a viabilidade das estruturas metálicas está diretamente ligada ao sucesso de sua associação com os sistemas de fechamento, pois é a partir do bom casamento desses dois sistemas que pode se chegar a uma concepção realmente industrializada e eficiente da obra. (Sales, 2001). Aliado a isso (Azevedo et al 2017) afirma que os processos de fabricação de estruturas metálicas têm se aperfeiçoado e a sua qualidade é garantida por meio das certificações ISO 9001 (Gestão de qualidade) e ISO 14001. Assim, o uso do aço surge como uma alternativa viável e segura para a construção de edifícios, residências, pontes, passarelas, viadutos, postos de gasolina, supermercados, aeroportos, ginásios esportivos, torres de transmissão etc.

2.3.3. Classificação das estruturas de aço

Ferraz (2003) aponta que as propriedades dos aços dependem de sua composição química, do tamanho dos grãos e de sua uniformidade sendo que os tratamentos térmicos e os trabalhos mecânicos aos quais se submetem esse material podem modificar em diferente intensidade alguns destes aspectos, bem como alterar as propriedades de um determinado tipo de aço, conferindo-lhe 13 características específicas, mole ou duro, quebradiço ou tenaz, dentre outras. Abaixo o Quadro 1 com as propriedades principais do aço:

Propriedades	Conceito
Elasticidade	Propriedade do metal de retornar à forma original, uma vez removida a força externa atuante. [...]
Plasticidade	Propriedade do material não voltar à sua forma inicial após a remoção da carga externa, obtendo-se deformações permanentes. A deformação plástica altera a estrutura de um metal, aumentando sua dureza.
Ductilidade	É a capacidade do material de se deformar sob a ação de cargas antes de se romper, daí sua grande importância, já que estas deformações constituem um aviso prévio à ruptura final do material, o que é de extrema importância para prevenir acidentes em uma construção, por exemplo
Fragilidade	É a característica dos materiais que rompem bruscamente, sem aviso prévio (um dos principais fatores responsáveis por diversos tipos de acidentes ocorridos em pontes e navios).
Resiliência	É a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico, ou seja, a capacidade de restituir a energia mecânica absorvida. Já a tenacidade é a energia total, plástica ou elástica, que o material pode absorver até a ruptura. Assim, um material dúctil com a mesma resistência de um material frágil irá requerer maior energia para ser rompido, portanto é mais tenaz
Fluência	Acontece em função de ajustes plásticos que podem ocorrer em pontos de tensão, ao longo dos contornos dos grãos do material. Estes pontos de tensão aparecem logo após o metal ser solicitado por uma carga constante, e sofrer a deformação elástica. Após esta fluência ocorre a deformação continua levando a uma redução da área do perfil transversal da peça (denominada estricção). Tem relação com a

	temperatura a qual o material está submetido: quanto mais alta, maior ela será, porque facilita o início e fim da deformação plástica. Nos aços, é significativa para temperaturas superiores a 350° C, ou seja, em caso de incêndios
Fadiga	É a ruptura de um material sob esforços repetidos ou cíclicos. A ruptura por fadiga é sempre uma ruptura frágil, mesmo para materiais dúcteis.
Dureza	É a resistência ao risco ou abrasão: a resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza. Sua análise é de fundamental importância nas operações de estampagem de chapas de aço

Quadro 1 - Propriedades do aço

Fonte: Ferraz (2003, p 7-8). 1

As propriedades do aço são extremamente importantes no âmbito das estruturas metálicas, pois os projetos são pensados baseando-se nelas. São propriedades que servem a todos os metais. O aço é um material geométrico, não plástico fato que limita em termos de criatividade, mas tem a vantagem de ter funções estruturais com grande potencial estético, ele ainda tem maior precisão em termos de dimensionamento do que o concreto, por sua homogeneidade, assim as deformações ocorridas na obra são muito próximas daquelas verificadas no cálculo. (CASTRO, 1999).

A escolha do tipo de estrutura depende diretamente do tipo de utilidade ou finalidade da obra a ser construída, e essa escolha envolve conhecimento e consideração de vários fatores. Penna e Pinho (2008, p.34) afirmam que, em se tratando de um sistema estrutural misto ou de um sistema estrutural todo em aço ou em concreto, este pode se configurar pelas escolhas dos itens que foram detalhados no Quadro 2 abaixo.

Configuração	Tipos/ características
Tipo de aço: Os aços estruturais são aqueles que, devido à sua resistência mecânica, resistência à corrosão, ductilidade, soldabilidade e outras propriedades, são adequados para uso em elementos que suportam cargas	i) aços com baixo teor de carbono tendo o aço ASTM A36 como principal aço desse grupo, com limite de escoamento mínimo de 250 MPa;
	ii) aços com baixo teor de carbono de alta resistência

	<p>mecânica e baixa liga, sendo o aço ASTM A572 G50 seu principal aço, com um limite de escoamento mínimo de 345 MPa; e iii) aços com baixo teor de carbono de alta resistência mecânica e baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, sendo os aços NBR 5921, NBR 5008, ASTM A588 os principais aços desse grupo, com limites de escoamento mínimo de 250, 300 e 350 MPa para os aços NBR 5921, e NBR 5008, com limite de escoamento mínimo de 350 MPa para o aço ASTM A588.</p>
<p>Tipo de perfil: consistem na forma como o aço se apresenta para uso estrutural. Algumas das características dos perfis são: Homogeneidade estrutural; Número de bitolas; Bitolas sob medida; Prazo de entrega; Comprimento padrão e sob medida; Acabamento superficial.</p>	<p>Os principais tipos de perfis estruturais são: - Perfis eletro soldados. - Perfis formados à frio. - Perfis laminados de abas inclinadas. - Perfis laminados de abas paralelas. - Perfis soldados. - Perfis tubulares com costura. - Perfis tubulares sem costura.</p>
<p>Tipo de proteção contra a corrosão: uma boa proteção começa no projeto, evitando detalhes que possam criar empoçamento ou acúmulo de sujeira junto a estrutura;</p>	<p>A proteção contra a corrosão na realidade é um sistema composto de: - limpeza de superfície; - pintura de base que tem a necessária aderência na superfície do aço; - pintura de acabamento que tem aderência na pintura de base, completa a espessura necessária para a proteção e dá a cor do acabamento final.</p>
<p>Tipo de proteção contra fogo: é um custo importante nas estruturas de aço, mas, se bem coordenada com outros partidos adotados para o projeto e o uso de engenharia na minimização da quantidade de materiais utilizados, este custo pode ser reduzido.</p>	<p>A estrutura enclausurada pode empregar proteção em argamassa projetada (de menor custo) e não necessita de pintura anticorrosiva, assim se tem uma estrutura durável e com o menor custo de proteção contra a corrosão e o fogo. Para cada tipo de utilização existe um tempo requerido de resistência normatizado.</p>

Quadro 2 – Configurações do aço.

Fonte: Adaptado de Penna e Pinho (2008, p. 35-41).

Portanto, fica evidente através do que foi apresentado no texto que cada tipo de aço apresenta uma configuração específica e que suas funções de uso devem ser respeitadas e levadas em consideração desde o planejamento do projeto estrutural até a execução do mesmo.

2.3.4. Vantagens da utilização de estruturas de aço

Diante do que foi apresentado, o aço, assim como todo material da construção possui características e configurações que trazem benefícios e vantagens quanto a sua utilização. Algumas dessas vantagens foram detalhadas abaixo no Quadro 3:

Vantagens
1) Alta resistência do material nos diversos estados de solicitação – tração, compressão, flexão, etc., o que permite aos elementos estruturais suportarem grandes esforços apesar das dimensões relativamente pequenas dos perfis que os compõem.
2) Apesar da alta massa específica do aço, na ordem de 78,50 KN/m ³ , as estruturas metálicas são mais leves do que, por exemplo, as estruturas de concreto armado, proporcionando, assim, fundações menos onerosas.
3) As propriedades dos materiais oferecem grande margem de segurança, em vista do seu processo de fabricação que proporciona material único e homogêneo, com limites de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem definidos.
4) As dimensões dos elementos estruturais oferecem grande margem de segurança, pois por terem sido fabricados em oficinas, são seriados e sua montagem é mecanizada, permitindo prazos mais curtos de execução de obras.
5) Apresenta possibilidade de desmontagem da estrutura e seu posterior reaproveitamento em outro local.
6) Apresenta possibilidade de substituição de perfis componentes da estrutura com facilidade, o que permite a realização de eventuais reforços de ordem estrutural, caso se necessite estruturas com maior capacidade de suporte de cargas
7) Apresenta possibilidade de maior reaproveitamento de material em estoque, ou mesmo, sobras de obra, permitindo emendas devidamente dimensionadas, que diminuem as perdas de materiais, em geral corrente em obras.

Quadro 3 - Vantagens das estruturas de aço

Fonte: Adaptado do Estruturas Metálicas I, PUC (2008, p. 7)

Dentre as vantagens detalhadas no Quadro 3, em relação ao peso das estruturas metálicas em aço, Nakamura (2006) afirma que a indústria de estruturas metálicas aumenta em passos largos a tecnologia aumentando também as opções de uso adquirindo maior flexibilidade de aplicação, novos desenhos e abas assimétricas, e maior resistência, cobrindo maiores vãos, vale ressaltar também que as estruturas de aço são mais leves em relação as estruturas de concreto, ela aponta ainda a estimativa de peso dessas estruturas por metro conforme tabela abaixo:

Tipo de edificação	Peso (kg/m ²)
Edifícios de até quatro pavimentos padrão popular	20 a 35
Edifícios de até quatro pavimentos padrão médio/alto	35 a 50
Edifícios de quatro a 12 pavimentos	40 a 50
Edifícios com mais de 12 pavimentos	45 a 60
Residências	20 a 70
Galpões industriais sem ponte rolante	20 a 25
Shopping centers	50 a 55

Tabela 1 – Estimativa do peso da estrutura metálica por tipo de edificação

Fonte: Nakamura (2006, p. 1)

Nakamura (2006) também aponta como uma das vantagens da estrutura de aço a adequação às questões ambientais por ser racional no uso dos materiais, rápida, limpa, e com nível baixo de desperdício e sua sucata, após vida útil da obra, pode ser reciclada sem perda de qualidade, sendo mais viável na busca por sustentabilidade. E quanto à qualidade e durabilidade, por serem produzidas industrialmente com rigor as estimativas de durabilidade são mais fáceis, e confiáveis de serem calculadas em comparação a outros sistemas. Já em relação ao fator tempo, Penna e Pinho (2008) citam que nas construções onde a antecipação representa maior rentabilidade do investimento como edifícios comerciais, edifícios residenciais para venda, sedes e agências, hotéis, hospitais, shoppings, edifícios de garagem e universidades e escolas, a estrutura de aço é vantajosa por ter a rapidez como característica, diferente da convencional que limita a velocidade da obra.

Ainda no aspecto econômico e de custos na construção civil, as estruturas de aço são quase sempre consideradas caras quando comparado a outros sistemas estruturais, porém tem montagem mais eficiente, viabilizando retorno econômico mais rápido; possui grande e precisão além de ser o aço um material 100% reciclável atendendo a consciência ecológica de forma mais sustentável (PENNA; PINHO, 2008). O custo direto da obra é a soma dos materiais, mão de obra e equipamentos, onde os custos dos materiais incluem as quantidades e as especificações dos mesmos acrescidos de encargos tributários, perdas por manuseio, os fretes, despesas de armazenamento e etc., e os custos de mão de obra se relacionam à produtividade

de execução da atividade e ao custo específico para a realização de cada atividade. (PENNA; PINHO, 2008).

Portanto, através das informações contidas nesse estudo, é possível analisar que o sistema construtivo que utiliza de estruturas de aço, proporciona dentre inúmeras vantagens, a viabilidade econômica, ambiental e social. Isso ocorre porque as estruturas de aço se adequam aos desafios ambientais, sociais e econômicos de um empreendimento. Aliado a isso, na construção industrializada existe a possibilidade de redução de custos na construção industrializada existe a possibilidade de reduções dos custos na diminuição das operações construtivas em campo, e projeto inteligente, para racionalização e utilização de materiais de melhor qualidade e de menores preços.

No Brasil, é notável que a produção e utilização de sistemas que utilizam estruturas de aço estão crescendo conforme os anos, pois cada vez mais se tem conhecimento das tecnologias e vantagens associadas as estruturas metálicas. Prova disso é a pesquisa “Cenário dos Fabricantes de Estruturas de Aço” onde considera dados de estruturas metálicas, torres de energia para transmissão, torres para energia eólica, estrutura para parque de energia solar e defensas metálicas. As 325 empresas participantes desse cenário pesquisado produziram, em 2020, 1,03 milhões de toneladas de estruturas de aço, um crescimento de 24,9% em relação a 2019, ano pré-pandemia, sendo 487,4 mil toneladas em produção de obras de estrutura metálica, 507,1 mil toneladas em produção para obras do segmento de energia e 33,2 mil toneladas em produção de defensas metálicas. Além de que esse montante levou ainda a um crescimento de 49,3% no faturamento das empresas: o levantamento mostra faturamento de R\$ 10,6 bilhões em 2020 ante R\$ 7,1 bilhões em 2019 e 5,1 bilhões em 2018 mostrando que, em dois anos, o faturamento das empresas mais que dobrou. Também foi observado um aumento relacionado aos empregos, com crescimento de 7,3% na quantidade de colaboradores, chegando a 32,6 mil profissionais, o número mais alto dos últimos 5 anos. Cerca de 48% dos fabricantes de estruturas de aço aumentaram seus quadros, reflexo do aumento da demanda.

2.4. Vantagens competitivas das estruturas metálicas

As estruturas metálicas apresentam diversas vantagens competitivas em relação aos outros métodos construtivos, por isso é válido destacar alguns parâmetros que tornam esse sistema construtivo com um potencial de competitividade elevado. De acordo com Inaba (2016), o sistema construtivo em aço apresenta vantagens significativas, algumas delas foram destacadas abaixo:

Liberdade no projeto de arquitetura - A tecnologia do aço confere aos arquitetos total liberdade criadora, permitindo a elaboração de projetos arrojados e de expressão arquitetônica marcante.

Maior área útil - As seções dos pilares e vigas de aço são substancialmente mais esbeltas do que as equivalentes em concreto, resultando em melhor aproveitamento do espaço interno e aumento da área útil, fator muito importante principalmente em garagens.

Flexibilidade - A estrutura em aço mostra-se especialmente indicada nos casos onde há necessidade de adaptações, ampliações, reformas e mudança de ocupação de edifícios. Além disso, torna mais fácil a passagem de utilidades como água, ar-condicionado, eletricidade, esgoto, telefonia, informática, etc. As edificações com estrutura em aço oferecem máxima liberdade ao empreendimento, tanto na fase de operação como em futuras adaptações. As construções podem ser facilmente modificadas ou ampliadas para se adaptarem a novos usos.

Compatibilidade com outros materiais - O sistema construtivo em aço é perfeitamente compatível com qualquer tipo de material de fechamento, tanto vertical como horizontal, admitindo desde os mais convencionais (tijolos e blocos, lajes moldadas *in loco*) até componentes pré-fabricados (lajes e painéis de concreto, painéis "dry-wall", etc.)

Menor prazo de execução - A fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações, a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços, simultaneamente, a diminuição de formas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais. O aço permite maior velocidade da construção, visto

que os componentes, na sua maioria, são produzidos fora do canteiro de obra. O tempo de construção é mais curto, minimizando os incômodos causados à vizinhança.

Racionalização de materiais e mão de obra - Em uma obra, por meio de processos convencionais, o desperdício de materiais pode chegar a 25% em peso. A estrutura em aço possibilita a adoção de sistemas industrializados, fazendo com que o desperdício seja sensivelmente reduzido.

Alívio de carga nas fundações - Por serem mais leves, as estruturas em aço podem reduzir em até 30% o custo das fundações.

Antecipação do ganho - Em função da maior velocidade de execução da obra, haverá um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e pela rapidez no retorno do capital investido.

Organização do canteiro de obras - Como a estrutura em aço é totalmente pré-fabricada, há uma melhor organização do canteiro devido, entre outros, à ausência de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens, reduzindo também o inevitável desperdício desses materiais. O ambiente limpo com menor geração de entulho oferece ainda melhores condições de segurança ao trabalhador, contribuindo para a redução dos acidentes na obra.

Garantia de qualidade e durabilidade - A fabricação de uma estrutura em aço ocorre dentro de uma indústria e conta com mão de obra altamente qualificada, o que dá ao cliente a garantia de uma obra com qualidade superior devido ao rígido controle existente durante todo o processo industrial. Existem diversas maneiras de proteção efetiva do aço contra corrosão, seja por meio de revestimento metálico ou pintura, ou ambos, que são cada vez mais aplicados diretamente às chapas ou à estrutura durante o processo de fabricação.

Precisão construtiva - Enquanto nas estruturas de concreto a precisão é medida em centímetros, em uma estrutura em aço a unidade empregada é o milímetro. Isso garante uma estrutura perfeitamente apurada e nivelada, facilitando atividades, como o assentamento de esquadrias, instalação de elevadores, bem como redução no custo dos materiais de revestimento.

Reciclabilidade - O aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas com menor geração de rejeitos. O aço pode ser reciclado em sua totalidade sem perder nenhuma de suas qualidades. Devido a suas propriedades magnéticas, que não são encontradas em nenhum outro material, o aço é facilmente separado de outros materiais, possibilitando elevados índices de reciclagem.

Preservação do meio ambiente - A estrutura em aço é menos agressiva ao meio ambiente, pois além de reduzir o consumo de madeira na obra, diminui a emissão de material particulado e poluição sonora geradas pelas serras e outros equipamentos destinados a trabalhar a madeira.

3. METODOLOGIA

A pesquisa científica é a realização de um estudo planejado, sendo o método de abordagem do problema o que caracteriza o aspecto científico da investigação. Sua finalidade é descobrir respostas para questões mediante a aplicação do método científico. (PRODANOV & FREITAS, 2013). Além disso, Gil (2010) define pesquisa como um procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. Diante disso, este capítulo tem como objetivo relatar a metodologia utilizada para a realização desta pesquisa e dos instrumentos utilizados para a coleta de dados.

Tomando como base os seus objetivos, as pesquisas podem ser classificadas em três grupos: (PRODANOV & FREITAS, 2013)

- Exploratórias – Esse tipo de pesquisa tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. De todos os tipos de pesquisa, estas são as que apresentam menor rigidez no planejamento. Habitualmente envolvem levantamento bibliográfico e documental, entrevistas não padronizadas e estudos de caso.
- Descritivas – Têm como objetivo a descrição das características de determinada população ou têm como finalidade identificar possíveis relações entre variáveis.
- Explicativas – Além de analisar e registrar os fenômenos estudados, elas buscam

identificar suas causas através da aplicação do método experimental/matemático ou por meio da interpretação viabilizada por métodos qualitativos.

De início, buscou-se realizar uma ampla pesquisa bibliográfica para ter acesso aos materiais que ajudassem na elaboração da pesquisa sobre o presente trabalho. Posteriormente, procedeu-se com o levantamento das empresas que utilizem do sistema construtivo de estruturas metálicas em Recife – PE e estivessem abertas a participar dessa pesquisa.

Na etapa seguinte para a coleta de dados, optamos por escolher o método do questionário, pois encontramos dificuldade em marcar entrevistas com as empresas participantes, tornando inviável o uso de formulário.

3.1. Objetivos gerais

Propor um questionário para analisar e verificar o desempenho de como os princípios da filosofia *Lean* aplicada à Construção Civil estão presentes nas empresas que utilizam de estruturas metálicas para construção na Região Metropolitana do Recife.

3.1. Escala de classificação

Cada pergunta foi elaborada e direcionada para que o respondente vincule os aspectos que ele enxerga na empresa, na sua rotina de trabalho, e que se encaixam com os princípios da *lean construction*. As empresas analisadas necessitavam basear seu desempenho obtido através do questionário em uma escala de classificação que oriente estas empresas sobre como elas estão posicionadas em relação à pontuação máxima que pode ser obtida após a avaliação do estado atual. Por tanto, foi utilizada uma escala de classificação baseando-se no nível de aplicabilidade dos princípios da *lean construction* dentro da construtora avaliada. Assim, os níveis de classificação são mostrados na figura abaixo.

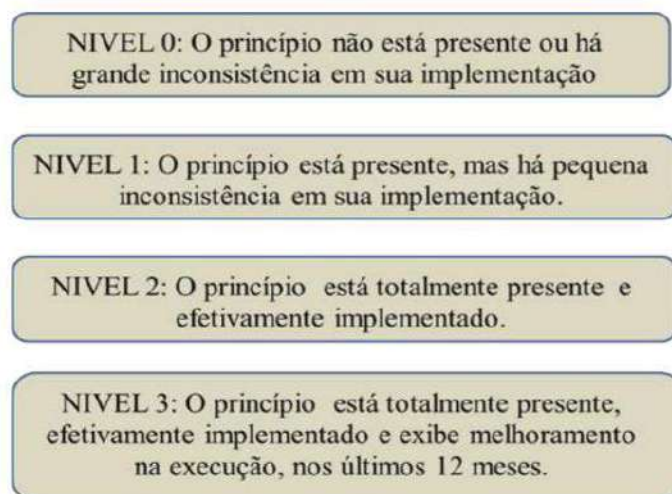
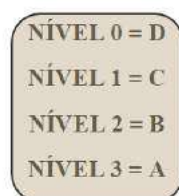


Figura 16 – Níveis de classificação do questionário

Fonte: Adaptado de Lucato, et al (2006)



Quadro 4 - Relação entre escala de classificação e níveis de *lean construction*.

Essa escala de classificação possibilitará verificar quais são os principais pontos a serem melhorados e quais são aqueles em que as empresas possuem um desempenho satisfatório. Sendo assim, a empresa poderá estabelecer um plano de estudo futuro baseado na análise destes resultados.

A escala utilizada variou entre 0 (zero) e 3 (três) e foi estabelecida considerando as médias aritméticas dos resultados em cada um dos princípios analisados, conforme a fórmula a seguir:

$$\chi = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Sendo: $x_1, x_2 \dots x_n$ = Grau de valoração do ponto de vista de cada entrevistado
 n = Números de perguntas realizadas

Essa escala de classificação possibilitará verificar quais são os principais pontos a serem melhorados e quais são aqueles em que as empresas possuem um desempenho satisfatório. Sendo assim, a empresa poderá estabelecer um plano de estudo futuro baseado na análise destes resultados.

Foram considerados pesos iguais para todos os princípios e para todas as perguntas, pretendendo-se, assim, garantir que todos os princípios possuam igualdade de importância na avaliação da *lean construction*. Os resultados desta média aritmética foram expostos em percentuais de desempenho e ao término da avaliação da empresa pode-se chegar à conclusão sobre um valor percentual de desempenho em relação à *lean construction*, sendo quanto maior este valor, melhor será seu resultado. Portanto, a classificação seguiu os seguintes critérios de desempenho na Tabela abaixo:

Tabela 3 – Classificação da empresa de acordo com o nível de *Lean Construction*.

NÍVEL	PERCENTUAL	CARACTERÍSTICA
-------	------------	----------------

A	75% a 100%	Busca pela perfeição na <i>lean construction</i> .
B	50% a 75%	Consciência e aprendizado enxuto.
C	25% a 50%	Foco em qualidade, mas baixo ou nenhum conhecimento em <i>lean construction</i> .
D	0% a 25%	Baixo foco em melhorias. Conhecimento nulo sobre <i>lean construction</i> .

Fonte: Modificado de Hofacker et al, (2008)

Essa classificação proposta por Hofacker et al (2008) pode ser exposta na forma do gráfico, chamado de Radar Preenchido que está disponível em diversos *softwares* de planilhas eletrônicas. A partir desse gráfico de radar, é possível analisar o desempenho de cada um dos diferentes envolvidos nas suas respectivas áreas em relação aos resultados totais e atuar pontualmente na melhoria de desempenho dos pontos críticos identificados. Um exemplo desse gráfico é demonstrado na Figura abaixo:

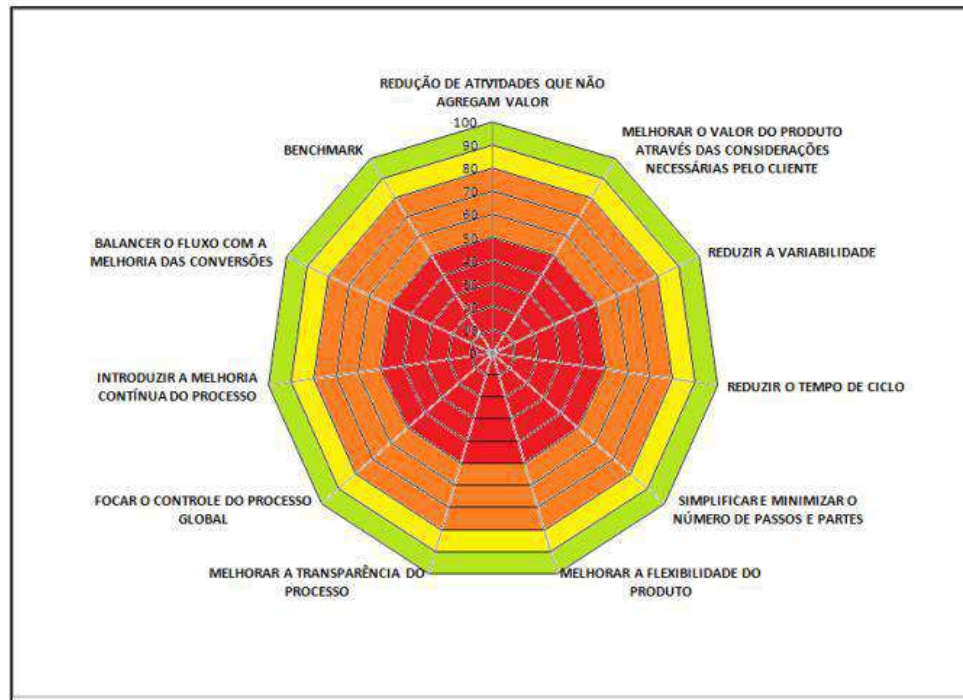


Figura 17 – Gráfico Radar de Preenchimento

Fonte: adaptado de carvalho (2008)

O gráfico Radar Preenchido está dividido em 04 (quatro) níveis, sendo dispostos da seguinte forma:

- Nível – A (75% a 100%) - Representado pela cor verde
- Nível – B (50% a 75%) – Representado pela cor amarela
- Nível – C (25% a 50%) - Representado pela cor laranja
- Nível – D (0 a 25%) - Representado pela cor vermelha

O principal propósito dessas representações gráficas é permitir que se observe e analise o grau de aplicação dos princípios da *Lean Construction* em cada empresa para que através do seu desempenho seja possível ter uma visão global do mercado e das opiniões dentro das empresas.

4. RESULTADOS

De maneira geral, tivemos uma taxa de sucesso em respostas de 50% (responderam 3 de 6 contatados), os engenheiros contatados disponibilizaram as informações necessárias para a análises dos dados. Apesar de encontrar dificuldades no agendamento das entrevistas, pois além de ser um período de eleição, houveram dificuldades em obter respostas espontâneas dos profissionais do setor, sendo necessário insistir no contato e na adesão ao estudo.

De acordo com os dados obtidos, pode-se constatar que vários princípios da *Lean Construction* estão sendo aplicados pelas empresas. Além disso, permitiu-se julgar quais os princípios que merecem mais atenção para possíveis melhorias dentro das empresas, uma vez que as mesmas devem centralizar seus esforços nos pontos que obtiveram menor desempenho e traçar metas efetivas para melhoria destes resultados, pois estes precisam de uma intervenção imediata de curto e longo prazo.

5.1 Análise por princípio

Como resultado das entrevistas, podemos tratar dos dados e obtivemos a seguinte tabela com as medias dos desempenhos por entrevistado, apresentada a seguir:

N	PRINCÍPIOS	E1	E2	E3
1	Redução de atividades que não agregam valor	100,00%	100,00%	66,67%
2	Melhorar o valor do produto através das considerações necessárias pelo cliente	83,33%	83,33%	83,33%
3	Reduzir a variabilidade	83,33%	83,33%	66,67%
4	Reduzir o tempo de ciclo	83,33%	100,00%	83,33%
5	Simplificar e minimizar o número de passos e partes	83,33%	83,33%	83,33%
6	Melhorar a flexibilidade do produto	33,33%	33,33%	33,33%
7	Melhorar a transparência do processo	83,33%	83,33%	83,33%
8	Focar o controle do processo global	83,33%	83,33%	83,33%
9	Introduzir a melhoria contínua do processo	66,67%	100,00%	83,33%
10	Manter o equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões	66,67%	100,00%	66,67%
11	Benchmarking	66,67%	66,67%	66,67%

Podemos perceber pela Tabela 3 que a maioria dos princípios apresentam um resultado satisfatório, com destaque para o princípio 1 que obteve 100% para a maioria dos entrevistados.

Tabela 2 – Visão geral dos resultados em porcentagem por engenheiro

Fonte: Autores

O princípio 6 obteve o menor desempenho entre os quesitos avaliados, pois obteve uma média de desempenho baixa e houve uma complicação na elaboração de uma pergunta do questionário. Ou seja, a grande maioria dos princípios estão difundidos nas empresas participantes e que é de grande importância que estes sejam aplicados de maneira correta para que haja uma melhoria expressiva na produtividade das empresas.

Através do gráfico de radar preenchido podemos também ter outra avaliação de desempenho dos princípios da *Lean Construction* que foram avaliados.

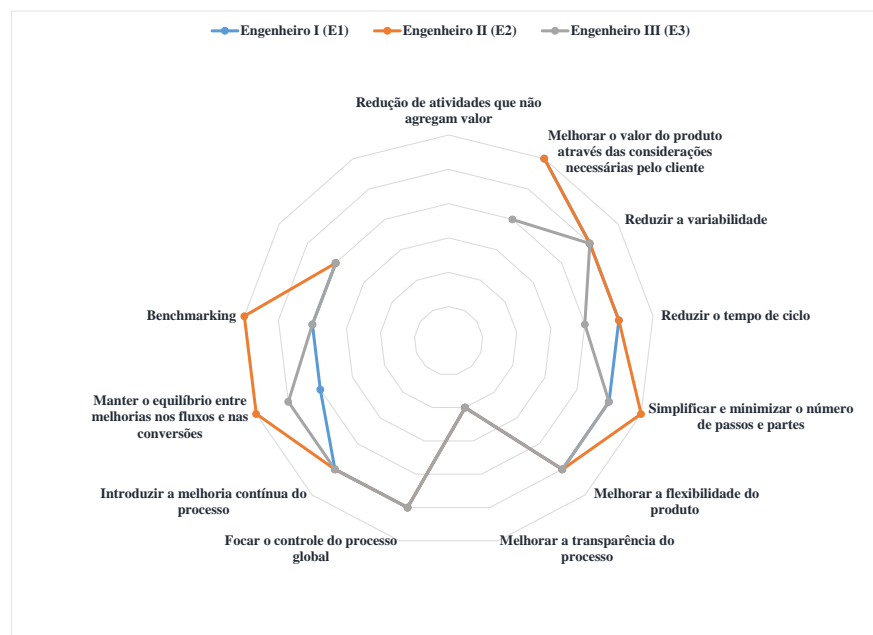


Figura 18 – Resultado da avaliação com engenheiros

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O objetivo geral dessa pesquisa foi alcançado, já que foi proposto um questionário (Anexo I) para a análise do desempenho e aplicabilidade dos princípios da filosofia *Lean Construction* em empresas que utilizam as estruturas metálicas na construção civil. Sendo a sua eficácia comprovada pelos resultados obtidos através de um estudo de caso de empresas que utilizam do sistema de estruturas metálicas na região metropolitana do Recife – PE.

O atendimento aos objetivos específicos listados a seguir impõe-se como requisito para alcançar o objetivo geral proposto. Desta forma, o resultado alcançado para cada objetivo é apresentado a seguir.

a) Discorrer sobre a Filosofia *Lean* aplicada à Construção Civil;

Este primeiro objetivo pôde ser atendido após revisão bibliográfica sobre pesquisas na área da filosofia *Lean Construction*, identificando os conceitos mais relevantes.

b) Discorrer sobre a caracterização e particularidades de obras metálicas;

Este objetivo pôde ser atendido após revisão bibliográfica sobre pesquisas na área de obras metálicas.

c) Estabelecer motivações para a aplicação da *Lean Construction* em obras metálicas;

Este objetivo pôde ser atendido após revisão bibliográfica em ambas as áreas, *Lean Construction* e Estruturas Metálicas, onde conseguimos mostrar que há uma forte conexão entre essas grandes áreas da construção civil.

d) Apresentar um caso aplicado na construção de uma edificação metálica localizada na Região Metropolitana do Recife;

Este objetivo foi atendido através de revisão bibliográfica e visitas as grandes obras que utilizaram de estruturas metálicas, tais como, o Mercado Público de Casa Amarela, o Teatro Santa Isabel e o Mercado de São José.

e) Avaliar o questionário de referência de Carvalho (2008)

Este objetivo foi atendido através de revisão bibliográfica de artigos que utilizaram desse questionário, onde pode-se avaliar as inconsistências e possíveis mudanças na forma e conteúdo desse questionário.

f) Aplicar o novo questionário proposto em empresas da região metropolitana do Recife

Foi aplicado integralmente esse novo questionário, entrevistando 2 agentes da cadeia produtiva (engenharia).

g) Analisar os resultados obtidos com a aplicação do novo questionário;

No capítulo 5 desse trabalho, traz os resultados de cada desempenho por agente (gráfico de radar) e por princípios (tabela 3), analisando de forma sucinta as respostas obtidas por meio das entrevistas obtidas pelo novo questionário proposto.

h) Analisar os princípios que obtiveram menor e maior desempenho com os agentes entrevistados;

No capítulo 5 desse trabalho, traz os resultados de cada desempenho por agente (gráfico de radar) e por princípios (tabela 3), analisando de forma sucinta os princípios que obtiveram menor e maior desempenho como forma de parâmetro para o traçado de metas da empresa.

f) Identificar o desempenho e a aplicabilidade da filosofia *Lean Construction* nas empresas do estudo de caso.

No capítulo 5 desse trabalho, traz os valores dos desempenhos e aplicabilidade da filosofia *Lean Construction* das empresas do estudo de caso.

6.1. Conclusões sobre o questionário

Em relação à ferramenta utilizada conclui-se que a presença do entrevistador é de fundamental importância para a obtenção de dados, já que ele pode esclarecer possíveis dúvidas dos entrevistados, atuando também na extração de informações complementares, caso julgue que as respostas obtidas não forem satisfatórias. Não foi possível realizar as entrevistas devido as dificuldades encontradas no período da eleição e disponibilidade de horário dos funcionários das empresas.

O questionário pode ser tratado como um estudo preliminar para um estudo mais amplo, isso porque encontramos dificuldades em elaborar algumas perguntas e o conteúdo das respostas. É necessário também aumentar o número de engenheiros entrevistados para que o resultado tenha um nível de confiabilidade favorável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKEMI NITAHARA. **Agência Brasil**, 2021. Economia (Construção civil) Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-06/ibge-construcao-voltou-crescer-em-2019-apos-dois-anos-de-queda>>. Acesso em: 07 abr. 2022.

ALVES, L. D. O. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2019. 101. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

ARAÚJO, L. Benefícios do incremento das operações off-site em empreendimentos imobiliários. In: ICEUBI 2017 - International Congress on Engineering. Proceedings...Covilhã, Portugal, 2017.

ANDRÉ, Robson Rodrigues. **O Uso das estruturas metálicas na construção civil**. Monografia defendida e aprovada na Universidade Finom de Patos de Minas 04 de dezembro de 2017.

AZEVEDO et al, L. R. C. **Uso das estruturas de aço no Brasil**. Departamento de Engenharia, Alagoas: UNIT, 2017, 217-228 p. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/5215>. Acesso em abr. 2022.

ABM BRASIL. **ABM**, 2021. Estruturas de aço. Disponível em: <<https://www.abmbrasil.com.br/por/noticia/producao-de-estruturas-de-aco-no-brasil-cresce-24-9-em-2020#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20da,6%20bilhões%20no%20ano%20passado.>>>. Acesso em: 12 abr. 2022.

BRITO e SILVA, M. C. **Construção de edificações multiandares em aço**. Departamento de Artes e Arquitetura, Goiânia: PUC, 2016, 6 p. Disponível em: <http://wwwo.metallica.com.br/construcao-de-edificacoes-multiandares-em-aco>. Acesso em abr. 2022.

CAMILLO, J. B. D. C. **Sistemas construtivos pré-fabricados: uma abordagem LEAN**. 2019. 101. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

CANTUSIO, A. N. **Estruturas metálicas I**. Departamento de Engenharia Civil, Campinas: PUC, 2008.

Disponível em: http://www.acn.eng.br/imagens/downloads_acad/EM%20I.pdf. Acesso em abr. 2022.

CORREA, H. L., CORRÊA, C. A. Administração de produção e operações: manufatura e serviços – uma abordagem estratégica. Atlas, 2004.

CHAMBERLAIN e ARTUR, Z. M. P. e G. D. **Análise e Experimentação de Estruturas Metálicas e de Madeira**. Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Rio grande do Sul: UPF, 2004. Disponível em:

https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/02/est_aco_2004.pdf. Acesso em abr. 2022.

KOSKELA, L. *Application of the New Production Philosophy to Construction*. 1992. 75 f. Relatório Técnico. Centro de Engenharia de Instalações Integradas- CIFE. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Stanford. Disponível em: <<http://cife.stanford.edu/node/491>>.

LIMA, Malu. A aplicação da filosofia *Lean Construction* em empresas baianas: um estudo comparativo com o cenário brasileiro. 2018. 19. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, programa de pós graduação em engenharia industrial, 2018

MOTA, B. P.; ALVES, T. C. L. Implementação do pensamento enxuto através do projeto de sistema de produção: estudo de casa na construção civil. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia da Produção, Rio de Janeiro, 2008.

MONTE, C. E. P. (2017). Proposta de questionário para analisar o desempenho e aplicabilidade dos princípios *Lean Construction*. estudo de caso: Incorporadora em Brasília - DF, Brasília. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Publicação E.DM –

16A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 175 p.

ORDONEZ, J. A. F. **Prefabricación: teoría y práctica**. Barcelona: Editores técnicos asociados, 1974, vol 2.

PATRÍCIA FIGUERÊDO. **FIBRA**, 2017. Economia (Construção civil) Disponível em: <<https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil>>. Acesso em: 07 abr. 2022.

PFAFFENZELLER, M.C. LEAN THINKING NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DA FILOSOFIA LEAN EM DIFERENTES FLUXOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial, v. 7, n. 14, p. 86-107, 2015

PICCHI, F. A. **Sistemas da Qualidade – uso em empresas de construção de edifícios**. São Paulo: POLI-USP, 1993. Originalmente apresentada como tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.

PAULO OLIVEIRA. **Mutual Engenharia Inteligente** 2022. Tecnologias (Construção civil) Disponível em: <<https://mutual.com.br/conceitos-e-fundamentos-da-lean-production-aplicados-na-construcao-atraves-do-lean-construction/>>. Acesso em: 07 abr. 2022.

PORTO EDITORA. **INFOPÉDIA PORTO EDITORA**, 2019. processo *Siemens-Martinem*: <[https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$processo-siemens-martin](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$processo-siemens-martin)>. Acesso em: 08 abr. 2022.

PREFEITURA DO RECIFE. **Prefeitura do Recife**, 2015. (Cultura) Disponível em: <<https://www2.recife.pe.gov.br/servico/teatro-de-santa-isabel?op=MTMy>>. Acesso em: 18 abr. 2022.

PREFEITURA DO RECIFE. **Prefeitura do Recife**, 2017. (Cultura) Disponível em: <<http://www2.recife.pe.gov.br/servico/mercado-de-sao-jose>>. Acesso em: 18 abr. 2022.

RIBEIRO, A. W. **UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS METÁLICOS NO ATUAL CENÁRIO DA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA: ESTUDO DE CASO PARA A MONTAGEM DE ESTRUTURA E COBERTURA DE GALPÃO INDUSTRIAL DE MÉDIO PORTE**. 2017. Monografia (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento acadêmico de construção civil. Programa de Especialização em Gerenciamento de obras, 2017.

RODRIGO BARRETO CALDAS. **CEAM - UFMG**, 2009. Estruturas Metálicas Disponível em: <<https://www.sites.google.com/site/acoufmg/home/historico>>. Acesso em: 08 abr. 2022.

RAMOS, Alexandra. **Práticas LEAN CONSTRUCTION: Investigação do ensino nos cursos de graduação em Engenharia Civil**. 2020. 27-30. Dissertação - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, programa de pós graduação em Engenharia de produção e sistemas, 2020.

SANTOS, Raquel Simone. **Comparativo entre estruturas de aço e concreto Armado**. Monografia defendida e aprovada na Universidade São Francisco em 13 de dezembro de 2007.

UFPE. **Universidade Federal de Pernambuco - UFPE**, 2019. (Notícias) / Memória FDR, Disponível em: < https://www.ufpe.br/memoriafdr/todos-os-informes/-/asset_publisher/bklARbjVCVr/content/faculdade-de-direito-do-recife-comemora-seus-190-anos-com-exposicao-e-eventos/642900#:~:text=No%20dia%2011%20de%20agosto,Recife%2C%20onde%20permanece%20até%20hoje.>. Acesso em: 19 abr. 2022.

ANEXO I

QUESTIONÁRIO PROPOSTO

Questionário sobre a **Lean Construction** aplicada à obras de estruturas metálicas em Recife - PE

Referente ao TCC dos alunos Pedro Silva e Pedro Viana - UFPE 2022.1

*Obrigatório

1. Você tem preocupação em reduzir atividades que não agregam valor na obra? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não tenho nenhuma preocupação
- ☐ Pouca preocupação
- ☐ Me preocupo, mas não sou totalmente eficiente no cotidiano nas reduções dessas atividades
- ☐ Tenho muita preocupação e tomo decisões que diminuem essas atividades substancialmente

2. A equipe responsável atua na redução de atividades que não agregam valor ao cliente final? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não atua de maneira nenhuma
- ☐ Atua de maneira discreta.
- ☐ Atua de maneira relevante, mas ainda não tem a total eficiência nessa redução
- ☐ As atividades que não agregam valor são totalmente reduzidas a partir de ações que a empresa coloca em prática no canteiro de obras

3. O quanto a empresa se esforça para buscar a melhoria de suas atividades, *
quando há uma avaliação de desempenho com os clientes?

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não há esforço nenhum
- ☐ Há pouco esforço nessa busca
- ☐ Há muito esforço, no entanto não o suficiente para melhorar o nosso trabalho
- ☐ Há um esforço constante e intenso para a busca de melhorias em nossos trabalhos pelas considerações dos clientes

4. O quanto é implementado e difundido o sistema de qualidade na sua empresa? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não há sistema de qualidade implementado na empresa
- ☐ Há um sistema de qualidade implementado, mas pouco difundido na empresa
- ☐ Há um sistema de qualidade difundido na maioria dos setores e processos da empresa
- ☐ Há um sistema de qualidade totalmente difundido, em todos os setores da empresa

5. Qual a sua preocupação em automatizar constantemente o sistema construtivo *
utilizando estruturas metálicas?

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Nenhuma preocupação.
- ☐ Pouca preocupação
- ☐ Muita preocupação, no entanto, não estamos totalmente mecanizados.
- ☐ Extrema preocupação, e temos os canteiros totalmente mecanizados.

6. Qual o nível de padronização das principais atividades da empresa? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não existe nenhuma atividade padronizada
- ☐ Existem poucas atividades padronizadas na empresa.
- ☐ A maioria, mas não todas atividades são padronizadas na empresa
- ☐ Todas as atividades da empresa são padronizadas

7. Você conhece os tempos de ciclo das atividades internas no canteiro obra? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não conheço.
- ☐ Pouco conheço.
- ☐ Conheço a maioria, mas não de todas as atividades.
- ☐ Conheço o tempo de ciclo de todas as atividades.

8. Há controle sobre a produtividade dos operários? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não há controle nenhum
- ☐ Há pouco controle
- ☐ Há controle, mas ainda não é totalmente eficiente
- ☐ Há um controle rigoroso e totalmente eficiente.

9. O processo de compra de materiais para a produção das estruturas metálicas é simples e eficiente? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não é simples e nem eficiente
- ☐ É simples, mas pouco eficiente
- ☐ É simples e eficiente, mas ainda deixa a desejar
- ☐ É muito simples e eficiente

10. Vocês utilizam equipamentos que possibilitem a redução do número de passos na montagem e instalação das estruturas metálicas? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não utilizamos nenhum equipamento
- ☐ Utilizamos pouco equipamentos.
- ☐ Utilizamos muitos equipamentos, mas não o suficiente.
- ☐ Utilizamos muito, e acreditamos que são suficientes

11. Os processos referentes a produção, montagem e instalação das estruturas metálicas permitem flexibilização? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não permitem nenhuma flexibilização
- ☐ Permitem poucas flexibilizações
- ☐ Permitem flexibilizações, mas estas são previamente estabelecidas pela empresa
- ☐ Permitem a total flexibilização do empreendimento

12. O quanto são atendidas as solicitações dos clientes frente a uma flexibilização, seja ela na forma de financiamento, no design do produto ou no tipo de material aplicado? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não são atendidas
- ☐ São parcialmente atendidas
- ☐ São atendidas, mas não totalmente
- ☐ São atendidas em todos os aspectos.

13. Os canteiros de obra possuem vias de acesso interno limpas, largas e desimpedidas para circulação dos trabalhadores e equipamentos? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não são limpas, claras e ergonômicas.
- ☐ São pouco limpas, claras e ergonômicas
- ☐ São limpas, claras, ergonômicas e agradáveis de trabalhar, mas ainda podem melhorar em alguns aspectos
- ☐ São totalmente limpas, claras, ergonômicas e agradáveis de trabalhar

14. Há a utilização de índices de desempenho em suas obras? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não utilizamos índices de desempenho em nossas obras.
- ☐ Utilizamos poucos índices de desempenho em nossas obras.
- ☐ Utilizamos índices de desempenho em nossas obras, mas não em todas as atividades
- ☐ Utilizamos índices de desempenho em nossas obras em praticamente todas as obras

ANEXO II

RESPOSTAS OBTIDAS

Questionário sobre a *Lean Construction* aplicada a obras de estruturas metálicas em Recife – PE

Respostas enviadas por e-mail, com esclarecimentos por telefone e WhatsApp.

Total de respondentes: 3 (três)

Perfil (todos do sexo masculino), idades entre 30 e 40 anos:

- 1) Eng. Civil – formado há 10 anos, atua em empresa de Construção própria.
- 2) Eng. Civil – formado há 8 anos, atua em empresa de Construção como contratado;
- 3) Eng. Civil – formado há 4 anos, atua em empresa de Construção como contratado.

Respostas:

1. Você tem preocupação em reduzir atividades que não agregam valor na obra?	E1	E2	E3
Não tenho nenhuma preocupação			
Pouca preocupação			
Me preocupo, mas não sou totalmente eficiente no cotidiano nas reduções dessas atividades			X
Tenho muita preocupação e tomo decisões que diminuam essas atividades substancialmente	X	X	

2. A equipe responsável atua na redução de atividades que não agregam valor ao cliente final?	E1	E2	E3
Não atua de maneira nenhuma			
Atua de maneira discreta			
Atua de maneira relevante, mas ainda não tem a total eficiência nessa redução			X
As atividades que não agregam valor são totalmente reduzidas a partir de ações que a empresa coloca em prática no canteiro de obras	X	X	

3. O quanto a empresa se esforça para buscar a melhoria de suas atividades, quando há uma avaliação de desempenho com os clientes?	E1	E2	E3
Não há esforço nenhum			
Há pouco esforço nessa busca			
Há muito esforço, no entanto não o suficiente para melhorar o nosso trabalho			
Há um esforço constante e intenso para a busca de melhorias em nossos trabalhos pelas considerações dos clientes	X	X	X

4. O quanto é implementado e difundido o sistema de qualidade na sua empresa?			
	E1	E2	E3
Não há sistema de qualidade implementado na empresa			
Há um sistema de qualidade implementado, mas pouco difundido na empresa			
Há um sistema de qualidade difundido na maioria dos setores e processos da empresa	X	X	X
Há um sistema de qualidade totalmente difundido, em todos os setores da empresa			
5. Qual a sua preocupação em automatizar constantemente o sistema construtivo utilizando estruturas metálicas?			
	E1	E2	E3
Nenhuma preocupação			
Pouca preocupação			
Muita preocupação, no entanto, não estamos totalmente mecanizados			X
Extrema preocupação, e temos os canteiros totalmente mecanizados	X	X	
6. Qual o nível de padronização das principais atividades da empresa?			
	E1	E2	E3
Não existe nenhuma atividade padronizada			
Existem poucas atividades padronizadas na empresa			
A maioria, mas não todas atividades são padronizadas na empresa	X	X	X
Todas as atividades da empresa são padronizadas			
7. Você conhece os tempos de ciclo das atividades internas no canteiro obra?			
	E1	E2	E3
Não conheço			
Pouco conheço			
Conheço a maioria, mas não de todas as atividades.	X		X
Conheço o tempo de ciclo de todas as atividades		X	
8. Há controle sobre a produtividade dos operários?			
	E1	E2	E3
Não há controle nenhum			
Há pouco controle			
Há controle, mas ainda não é totalmente eficiente			
Há um controle rigoroso e totalmente eficiente.	X	X	X

9. O processo de compra de materiais para a produção das estruturas metálicas é simples e eficiente?

	E1	E2	E3
Não é simples e nem eficiente			
É simples, mas pouco eficiente			
É simples e eficiente, mas ainda deixa a desejar		X	X
É muito simples e eficiente	X		

10. Vocês utilizam equipamentos que possibilitem a redução do número de passos na montagem e instalação das estruturas metálicas?

	E1	E2	E3
Não utilizamos nenhum equipamento			
Utilizamos pouco equipamentos			

Utilizamos muitos equipamentos, mas não o suficiente.

Utilizamos muito, e acreditamos que são suficientes	X	X	X
---	---	---	---

11. Os processos referentes a produção, montagem e instalação das estruturas metálicas permitem flexibilização?

	E1	E2	E3
Não permitem nenhuma flexibilização			
Permitem poucas flexibilizações			
Permitem flexibilizações, mas estas são previamente estabelecidas pela empresa	X	X	X
Permitem a total flexibilização do empreendimento			

13. Os canteiros de obra possuem vias de acesso interno limpas, largas e desimpedidas para circulação dos trabalhadores e equipamentos?

	E1	E2	E3
Não são limpas, claras e ergonômicas.			
São pouco limpas, claras e ergonômicas			
São limpas, claras, ergonômicas e agradáveis de trabalhar, mas ainda podem melhorar em alguns aspectos	X	X	X
São totalmente limpas, claras, ergonômicas e agradáveis de trabalhar			

14. Há a utilização de índices de desempenho em suas obras?	E1	E2	E3
Não utilizamos índices de desempenho em nossas obras			
Utilizamos poucos índices de desempenho em nossas obras.			
Utilizamos índices de desempenho em nossas obras, mas não em todas as atividades			
Utilizamos índices de desempenho em nossas obras em praticamente todas as obras	X	X	X

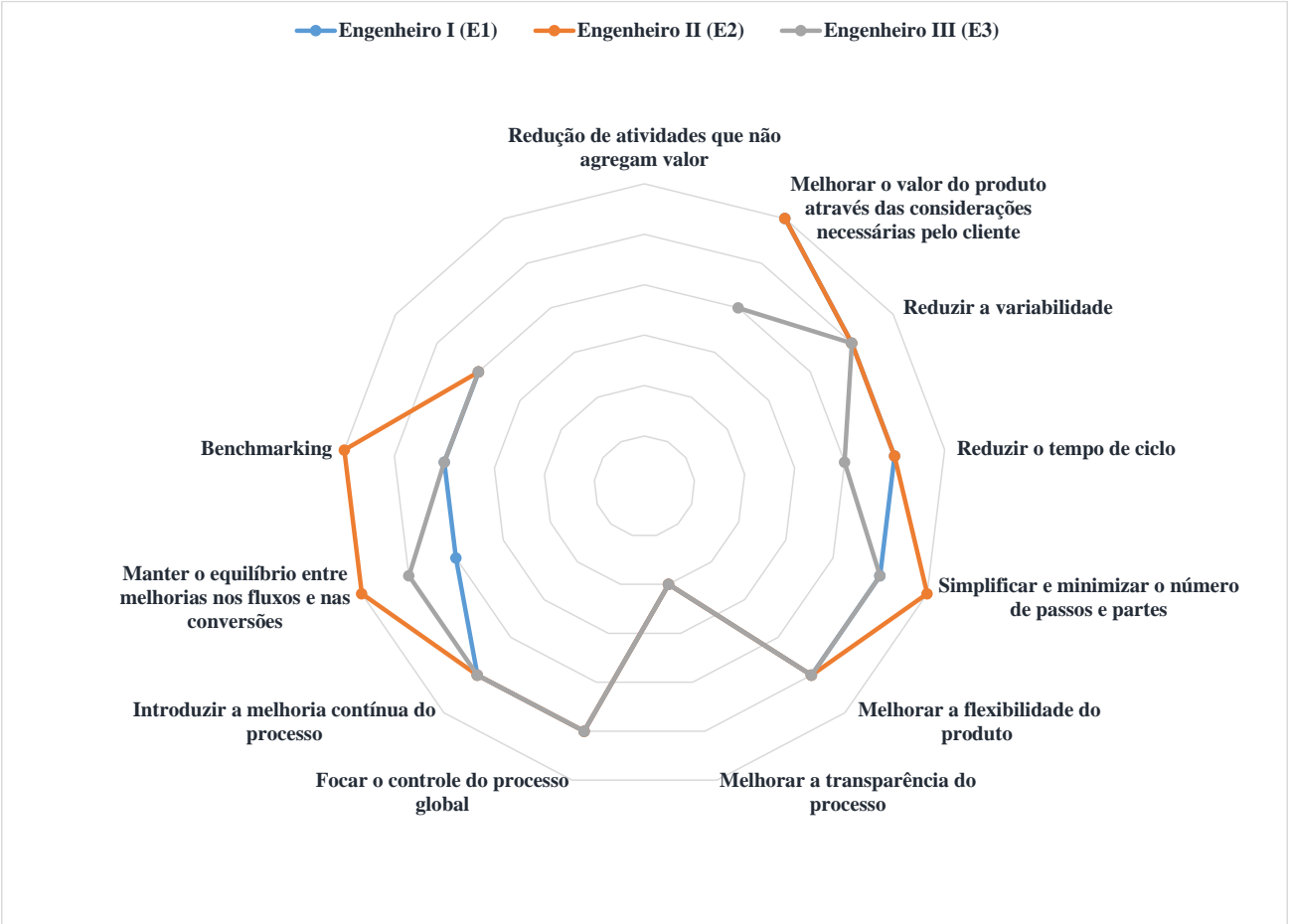
15. Há controle sobre o planejamento das obras?	E1	E2	E3
Não há controle sobre o planejamento.			
Há pouco controle sobre o planejamento			
Há um controle periódico, mas não completo sobre o planejamento			
Há um controle periódico e completo sobre o planejamento	X	X	X

16. Há participação dos colaboradores na busca de melhorias dos processos?	E1	E2	E3
Não há participação			
Há pouca participação			
Há participação, mas não de todos os colaboradores	X	X	X
Há total participação de todos os colaboradores.			
17. Existe um programa interno de promoção da melhoria contínua dos trabalhos realizados (produção, montagem e instalação)?	E1	E2	E3
Não existe programa de melhoria contínua			
Existe o programa de melhoria contínua, mas ainda não foi implementado			
Existe o programa de melhoria contínua, mas ainda não foi totalmente implementado	X		
Existe o programa de melhoria contínua e ele foi totalmente implementado		X	X
18. Há controle sobre as disposições das estruturas metálicas no interior da obra?	E1	E2	E3
Não há controle nenhum			
Há pouco controle			
Há controle, mas ainda não é totalmente eficiente	X		X
Há um controle rigoroso e totalmente eficiente		X	
19. Como se dá o controle sobre o fluxo de materiais internos na obra?	E1	E2	E3
Não há controle nenhum			
Há pouco controle			
Há controle, mas ainda não é totalmente eficiente	X		X
Há um controle rigoroso e totalmente eficiente		X	
20. O quanto a empresa faz uso de <i>benchmark</i> ?	E1	E2	E3
Não realiza nenhum <i>benchmark</i>			
Realiza, mas ainda é muito pouco			
Realiza, mas poderia melhorar em diversas atividades	X	X	X
Há um controle rigoroso e totalmente eficiente			

ANEXO III

RESULTADOS OBTIDOS

	Engenheiro I (E1)	Engenheiro II (E2)	Engenheiro III (E3)
Redução de atividades que não agregam valor	3,00	3,00	2,00
Melhorar o valor do produto através das considerações necessárias pelo cliente	2,50	2,50	2,50
Reduzir a variabilidade	2,50	2,50	2,00
Reduzir o tempo de ciclo	2,50	3,00	2,50
Simplificar e minimizar o número de passos e partes	2,50	2,50	2,50
Melhorar a flexibilidade do produto	1,00	1,00	1,00
Melhorar a transparência do processo	2,50	2,50	2,50
Focar o controle do processo global	2,50	2,50	2,50
Introduzir a melhoria contínua do processo	2,00	3,00	2,50
Manter o equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões	2,00	3,00	2,00
Benchmarking	2,00	2,00	2,00
TOTAL	25,00	27,50	24,00
MÉDIA	84%	76%	88%
NÍVEL DE CLASSIFICAÇÃO	A	A	A



RESULTADO FINAL MÉDIA DE DESEMPENHO POR PRINCÍPIO/ENGENHEIRO

