

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO: ANÁLISE DE
SISTEMAS CONSTRUTIVOS CONFORME NÍVEL DE PRÉ-
FABRICAÇÃO**

Klaus Dietrichkeit

Porto Alegre
Maio de 2021

KLAUS DIETRICHKEIT

**INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO: ANÁLISE DE
SISTEMAS CONSTRUTIVOS CONFORME NÍVEL DE PRÉ-
FABRICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Daniela Dietz Viana

Porto Alegre
Maio de 2021

KLAUS DIETRICHKEIT

**INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO: ANÁLISE DE
SISTEMAS CONSTRUTIVOS CONFORME NÍVEL DE PRÉ-
FABRICAÇÃO**

Porto Alegre, maio de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Daniela Dietz Viana (UFRGS)

Dr.^a. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, BR
Orientadora

Prof.^a Dóris Zechmeister Bragança Weinmann (UFRGS)

Dr.^a. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, BR

Prof.^a Lais Zuccheti (UFRGS)

Dr.^a. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, BR

Dedico este trabalho a minha família,
pelo suporte ao longo de toda a minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente minha família: a meus pais, que me ensinaram desde cedo o valor da educação e me proporcionaram as condições para que eu pudesse atingir meus objetivos, ao meu irmão pelo exemplo que foi e à minha avó Catalina, que mesmo longe me impulsionou a dar meu melhor.

Aos meus professores, com ensinamentos que transcendiam à sala de aula, que expandiram meus conhecimentos e ajudaram a me tornar um profissional mais competente. Agradecimento especial à professora Daniela Dietz, que me apoiou e fez possível a realização deste trabalho.

A meus amigos que me apoiaram ao longo de toda minha trajetória e se fizeram presentes em momentos marcantes destes últimos 5 anos e em especial aos meus colegas e companheiros de profissão, que presenciaram comigo todas as dificuldades e alegrias: Carol, Felipe, Gabriela, Leonardo, Maria Luiza e Thais.

Aos entrevistados, que dispuseram seu tempo para me auxiliar na execução deste trabalho e que compartilharam comigo seus conhecimentos sobre o tema.

Persistence is the path to success
Charles Chaplin

RESUMO

Com a modernização e implementação de tecnologia nas mais diversas áreas, a construção civil apresentou um certo conservadorismo quanto a mudanças, com a impressão de que métodos não tradicionais podem não ser tão confiáveis. No entanto, a industrialização tem muito a agregar no segmento, proporcionando construções de maior controle tecnológico, com qualidade e eficiência de fábrica. Ao longo dos últimos anos, diversas soluções envolvendo pré-fabricação foram apresentadas, desde componentes únicos, a módulos completos que podem ser conectados no local ou empilhados para estruturas de multipavimentos. Este trabalho busca avaliar essas alternativas de acordo com o nível de pré-fabricação, em termos de ganhos de prazo, interface do sistema com a edificação e custo, além do funcionamento e planejamento necessário para cada sistema. Assim, realizou-se uma revisão bibliográfica do assunto abordado, seguido de entrevistas com profissionais da área, para posterior síntese e análise das informações obtidas. Como resultados, identifica-se a industrialização como possível solução para algumas dificuldades do setor e a importância do domínio da obra como um todo para garantir os potenciais benefícios, mas caso a obra tenha elementos não industrializados é interessante adotar uma opção simplificada que permita variações dimensionais correspondentes às praticadas nos sistemas tradicionais de construção.

Palavras-chave: inovação; pré-fabricação; industrialização da construção; construção *off site*; construção rápida.

ABSTRACT

With modernization and the implementation of technology in many sectors, civil construction has demonstrated a certain conservatism regarding changes, with the impression that non-traditional methods may not be as reliable. However, industrialization has a lot to add to the segment, providing greater technological control buildings, with factory quality and efficiency. Throughout the last few years, a number of solutions have been planted, from single components to fully equipped modules that can be assembled and stacked on site, in case of multi-storey buildings. This present paper seeks to evaluate these alternatives according to their pre-assembly level, in terms of time savings, system's interfaces with the building and cost, as well as the system's functioning and its planning needs. Thus, a bibliographic review of the subject was done, followed by interviews with active professionals, for further synthesis and analysis of the collected information. As a result, industrialization is identified as a possible solution to some difficulties in the sector and the overall construction domain is important to ensure the potential benefits, but in case the building has non-industrialized elements, it is interesting to adopt a simplified option that allows for dimensional variations corresponding to those practiced in traditional construction systems.

Keywords: innovation; prefabrication; industrialization of construction; off-site construction; fast construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Construção do hospital em Wuhan, China.....	15
Figura 2 - Trabalho no canteiro utilizando sistemas pré-fabricados	17
Figura 3 - Delineamento do Trabalho.....	21
Figura 4 - Casa em execução com o sistema construtivo da empresa A	22
Figura 5 - Casa construída pela empresa B	23
Figura 6 - Módulo da empresa C sendo içado	24
Figura 7 - Modelo de reutilização de módulos da empresa C	24
Figura 8 - Módulo da empresa D sendo acoplado	25
Figura 9 - Controle sobre a execução da obra	27
Figura 10 - Número de componentes contemplados em fábrica	28
Figura 11 - Interface com a fundação da empresa C	28
Figura 12 - Interfaces do sistema.....	29
Figura 13 - <i>Lead time</i>	30
Figura 14 - Utilização de BIM pela empresa B.....	31
Figura 15 - Importância da compatibilização de projetos	31
Figura 16 - Tolerância da conectividade entre as partes do sistema em obra	32
Figura 17 - Diferença de produtividade em relação a sistemas de construção tradicionais	32
Figura 18 - Diferença de custo em relação a sistemas de construção tradicionais.....	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo de parâmetros entre as empresas entrevistadas	26
--	----

LISTA DE SIGLAS

BA – Bahia

BIM – *Building Information Modeling*

GRC – *Glass Fiber Reinforced Concrete*

NR – Norma Regulamentadora

OSB – *Oriented Strand Board*

RS – Rio Grande do Sul

SIP - *Structural Insulated Panels*

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA	14
2.1 Pré-Fabricação	16
2.1.1 Classificação.....	16
2.2 Benefícios	16
2.2.1 Produtividade.....	17
2.2.2 Padronização.....	17
2.2.3 Tempo de Ciclo	17
2.2.4 Sustentabilidade.....	18
2.2.5 Custo.....	18
2.2.6 Qualidade.....	19
2.2.7 Segurança do Trabalho	19
2.2.8 Influência no Canteiro de Obras.....	19
3 MÉTODO	20
3.1 Definição das categorias e parâmetros do quadro comparativo	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1 Empresas Envolvidas e caracterização de cada empresa e produto	22
4.1.1 Empresa A	22
4.1.2 Empresa B	22
4.1.3 Empresa C	23
4.1.4 Empresa D	25
4.2 Quadro comparativo com principais parâmetros.....	26
4.3 Análise.....	26
4.3.1 Mão de Obra de Execução.....	27
4.3.2 Produto	27
4.3.3 Interfaces do Sistema.....	28
4.3.4 Lead time	29
4.3.5 Compatibilização de projetos	30
4.3.6 Precisão e Tolerâncias	31
4.3.7 Produtividade.....	32
4.3.8 Custo.....	32
4.3.9 Dificuldades Recorrentes.....	33
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	34
AGRADECIMENTOS	38

Industrialização da Construção: Análise de sistemas construtivos conforme nível de pré-fabricação

Innovation in Construction: Construction systems analysis according to its pre-assembly level

RESUMO

Com a modernização e implementação de tecnologia nas mais diversas áreas, a construção civil apresentou um certo conservadorismo quanto a mudanças, com a impressão de que métodos não tradicionais podem não ser tão confiáveis. No entanto, a industrialização tem muito a agregar no segmento, proporcionando construções de maior controle tecnológico, com qualidade e eficiência de fábrica. Ao longo dos últimos anos, diversas soluções envolvendo pré-fabricação foram apresentadas, desde componentes únicos, a módulos completos que podem ser conectados no local ou empilhados para estruturas de multipavimentos. Este trabalho busca avaliar essas alternativas de acordo com o nível de pré-fabricação, em termos de ganhos de prazo, interface do sistema com a edificação e custo, além do funcionamento e planejamento necessário para cada sistema. Assim, realizou-se uma revisão bibliográfica do assunto abordado, seguido de entrevistas com profissionais da área, para posterior síntese e análise das informações obtidas. Como resultados, identifica-se a industrialização como possível solução para algumas dificuldades do setor e a importância do domínio da obra como um todo para garantir os potenciais benefícios, mas caso a obra tenha elementos não industrializados é interessante adotar uma opção simplificada que permita variações dimensionais correspondentes às praticadas nos sistemas tradicionais de construção.

Palavras-chave: inovação; pré-fabricação; industrialização da construção; construção *off site*; construção rápida.

ABSTRACT

With modernization and the implementation of technology in many sectors, civil construction has demonstrated a certain conservatism regarding changes, with the impression that non-traditional methods may not be as reliable. However, industrialization has a lot to add to the segment, providing greater technological control buildings, with factory quality and efficiency. Throughout the last few years, a number of solutions have been planted, from single components to fully equipped modules that can be assembled and stacked on site, in case of multi-storey buildings. This present paper seeks to evaluate these alternatives according to their pre-assembly level, in terms of time savings, system's interfaces with the building and cost, as well as the system's functioning and its planning needs. Thus, a bibliographic review of the subject was done, followed by interviews with active professionals, for further synthesis and analysis of the collected information. As a result, industrialization is identified as a possible solution to some difficulties in the sector and the overall construction domain is important to ensure the potential benefits, but in case the building has non-industrialized elements, it is interesting to adopt a simplified option that allows for dimensional variations corresponding to those practiced in traditional construction systems.

Keywords: innovation; prefabrication; industrialization of construction; off-site construction; fast construction.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil no cenário brasileiro apresenta diversas oportunidades de melhoria, tendo a utilização dos mesmos métodos construtivos há décadas, sem grande evolução tecnológica. A produtividade nas construções está estagnada, enquanto no setor de manufatura quase dobrou desde 1994 (CHANGALI *et al.*, 2015). A construção civil é um dos poucos grandes setores que ainda não adotaram amplamente a industrialização como modelo de execução, em especial no Brasil, que é um dos países com menor uso de tecnologias como *Big Data*, Inteligência Artificial e modelagem 3D (IDC, 2020). É notório que a industrialização da construção é um processo gradativo, não sendo uma solução rápida de efeito imediato, mas que se faz necessária para promover um mercado mais ágil e atual.

Com o uso da pré-fabricação, as obras reduzem significativamente seus prazos, com um controle de cronograma mais apurado e um grau de incerteza muito mais baixo (RODRIGUES, 2005). Além disso, por meio de um ambiente controlado, a obra passa a não depender de fatores externos como condições climáticas, tendo maior qualidade e cuidado em sua execução.

Muito debatida atualmente, a industrialização promove um grau maior de sustentabilidade, com menor geração de resíduos e otimização de recursos. Além disso, seus materiais são mais facilmente reaproveitados, amenizando os impactos negativos em caso de demolições. Porém, conforme Bertram *et al.* (2019), não é tão simples garantir o máximo de benefícios do sistema, necessitando elaborar a combinação certa de design, tecnologia, manufatura e logística.

A migração da execução da obra para um ambiente fabril apresenta suas barreiras. Um dos maiores desafios que as empresas atuantes nesse mercado enfrentam atualmente é referente a complexidade logística, com a etapa de planejamento muito mais robusta e decisões finais de projeto sendo cobradas em uma etapa ainda inicial. Além dos fatores técnicos, outro grande desafio faz referência a aspectos culturais (HERVÁS; RUIZ, 2007), tendo de mudar a concepção daqueles que estão habituados aos sistemas convencionais de construção que pressupõe que outros métodos construtivos são de qualidade inferior.

Não há uma única forma de aplicar métodos industrializados, existem diversos níveis de pré-fabricação, desde elementos a construções modulares, bem como proposto por Gibb (2001). Este artigo pretende identificar os níveis existentes e apresentar suas principais aplicações e limitações.

2 CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

O conceito da industrialização na construção vem sendo cada vez mais comentado, com opiniões amplas quanto a sua definição. Ordoñez (1974) reúne diversas definições que caracterizam essa polaridade de ideias. Conforme Blachère (1977), a industrialização tem por essência a produção de um objeto sem a influência de mão de obra artesanal, por meio de máquinas. Este conceito enfatiza o aspecto de racionalização e repetição, enfocando na importância de um ambiente industrial e mecanizado, que de fato são essenciais, no entanto, é necessário abordar outros fatores para se atingir uma definição mais completa. Para este artigo, adota-se o conceito de construção industrializada de Lessing (2015), que é a combinação de planejamento e controle de processos, sistemas técnicos avançados, pré-fabricação, relações de longa duração, uso de tecnologias, reuso de experiências, foco no consumidor e evolução contínua. O conceito ressalta que a pré-fabricação é um meio necessário para a industrialização, mas que não se limita a isso, sendo a integração de diversos fatores.

Conforme Calçada (2014), teve-se uma evolução ao longo dos anos, mas segue-se possuindo processos altamente artesanais. Atualmente, no Brasil, a maior gama de processos utilizados é de caráter artesanal, o que incide em uma maior variabilidade na qualidade do produto e menor produtividade em sua execução. Processos como a execução de paredes em alvenaria, através de assentamento de tijolos, seguem sendo os mais utilizados, sendo que já se tem conhecimento de soluções muito mais ágeis e industrializadas, como painéis pré-fabricados. Muitas vezes, os

métodos convencionais são usados por desinformação ou até mesmo conformismo, conforme Schwark (2006), por serem as alternativas das quais se tem mais domínio. Não é possível ignorar o potencial da industrialização no setor, devendo incentivar o estudo de inovações na área a fim de alcançar maiores níveis de produtividade, qualidade e redução de custos.

Apesar das vantagens que a industrialização pode trazer à construção civil, nota-se que ainda é muito pouco utilizada e que não avançou o quanto deveria ao longo dos anos, tendo a descrição de Bender (1976) de uma situação muito similar à que se vive atualmente ainda na década de 1970. O setor está muito defasado e não é por falta de oportunidades, sendo que vários mecanismos já foram criados para industrializar a construção, inicialmente voltados a sistemas fechados e posteriormente sistemas abertos, com maior flexibilidade e capacidade de atender às demandas do mercado (BRANDÃO; HEINECK, 2007).

Com a situação inusitada de 2020, um ano de pandemia devido ao COVID-19 e de necessidade de hospitais em alta, o mundo inteiro foi exposto às vantagens da industrialização na construção civil, com um hospital de 1000 leitos sendo construído em apenas 10 dias de obra, na China (MARÍN, 2020), como mostra a Figura 1. O hospital foi feito através de estruturas metálicas pré-fabricadas unidas por parafusos, acoplando módulos que já estavam completamente montados previamente em fábrica, com esquadrias e instalações. A obra gerou grande repercussão na mídia por sua rapidez e evidenciou que o uso de pré-fabricados é uma alternativa para suprir as necessidades causadas por emergências (SERRA *et al.*, 2005).

Figura 1 - Construção do hospital em Wuhan, China



Fonte: Getty (MARÍN, 2020).

Uma das principais barreiras dos sistemas industrializados é o receio e preconceito dos clientes e construtoras tradicionais, a cultura do tijolo é uma barreira que impede a introdução de novos materiais na construção de edificações (HERVÁS; RUIZ, 2007). Ainda assim, os consumidores estão se habituando com a ideia, havendo uma grande mudança no pensamento dos clientes de 2013 para 2020 (ARQUIPAPO, 2021) com a aceitação dos sistemas por boa parte da geração mais nova, dando início a um movimento de construção mais industrializada. Esse fator somado à exposição das vantagens do método que foi repercutido em 2020, por meio da execução de hospitais com muita rapidez, tem alavancado o estudo da adoção de sistemas construtivos industrializados.

2.1 Pré-Fabricação

Conforme Revel (1973), a pré-fabricação pode ser definida como a “fabricação de certo elemento antes de seu posicionamento final na obra”. Consiste em segmentar o produto e fabricar as partes que o compõe em série, previamente, para ser montado no local posteriormente, no momento desejado, sendo também denominado de construção *off site* (fora do canteiro). A pré-fabricação é uma alternativa estratégica adotada para implementar a industrialização na construção civil, pois consegue aliar as vantagens da industrialização com as barreiras causadas pelo transporte, que delimita o tamanho dos elementos e, conseqüentemente, quão segmentado o sistema deve ser.

Trata-se de um método construtivo alternativo, sem necessidade de possuir uma estética ou estrutura melhor ou pior. Ao longo do presente artigo, a fim de esclarecimento, denomina-se sistemas convencionais como os mais tradicionais e consolidados no atual mercado brasileiro de construção civil, sendo estes o sistema de alvenaria e concreto armado moldado in loco, com a construção em quase sua totalidade sendo executada no local.

A pré-fabricação gera antecipação da consolidação conceitual do produto, demandando decisões em uma etapa ainda inicial. Com essa antecipação de decisões críticas, promove-se uma maior previsibilidade e eficiência, facilitando a gestão da construção. Quando bem utilizada, pode ser muito benéfica, possibilitando que boa parte da construção seja executada independentemente das condições climáticas, viabilizando cronogramas de obra apertados, reduzindo perdas por resíduos e gerando um produto de maior controle de qualidade (RODRIGUES, 2005).

2.1.1 Classificação

Como pré-fabricação é um conceito muito amplo, podendo ser de um tijolo ou de um módulo completo, ressalta-se a importância de elucidar quais as definições sendo consideradas. Assim, tem-se 4 níveis de pré-fabricação: componentes pré-fabricados, pré-fabricação não-volumétrica, pré-fabricação volumétrica e construção modular (GIBB, 2001), listados abaixo do menor ao maior nível:

- Componentes Pré-Fabricados: Nessa categoria enquadram-se todos os componentes de menor escala, que já são feitos de forma industrializada, sem ser cogitada a execução de forma artesanal nas obras, como tijolos e parafusos.
- Pré-fabricação Não-Volumétrica: Elementos pré-fabricados sem criação de espaço interno, como paredes e painéis de vedação.
- Pré-fabricação Volumétrica: Elementos pré-fabricados com criação de espaço interno, mas com estrutura dependente do restante do edifício, como kits de banheiros.
- Construção Modular: Elementos pré-fabricados com criação de espaço interno, com função estrutural, como os módulos para a construção de hospitais.

Vale ressaltar que dentro de uma categoria pode-se haver elementos de uma categoria menos industrializada, como paredes pré-fabricadas (Pré-fabricação Não-Volumétrica) na execução de um módulo (Construção Modular), trazendo ainda mais agilidade para o sistema.

Neste estudo, são aprofundados os estudos quanto a pré-fabricação não-volumétrica e construção modular.

2.2 Benefícios

Conforme Rodrigues (2005), o emprego de sistemas pré-fabricados promove diversos benefícios, como redução de custo, maior precisão no cronograma de execução, maior qualidade na fabricação, maior segurança no trabalho e menor geração de resíduos. A pré-fabricação tem se mostrado como o caminho para a industrialização no setor, com várias vantagens em relação à construção tradicional.

2.2.1 Produtividade

Conforme o dicionário Michaelis, é a taxa de produção física obtida num determinado período de tempo, considerando-se o fator utilizado. Mensura a relação de recursos materiais e humanos necessários para realização de uma parcela do produto. O sistema pré-fabricado possui uma grande vantagem nesse quesito, podendo utilizar uma produção em série para executar serviços que atualmente são feitos de forma artesanal nas obras. Pode-se relacionar o baixo grau de mecanização dos processos das obras à sua baixa produtividade (ZHAI *et al.*, 2014), assim, podendo aumentar a produtividade com o uso de novas tecnologias.

2.2.2 Padronização

Padronização é o uso extensivo de componentes, métodos ou processos nos quais há regularidade, repetição e um histórico de prática e previsibilidade bem-sucedidas (GIBB, 2001). A padronização procura regular um determinado método de produção, a fim de se obter repetitividade e previsibilidade no resultado. Assim, é importante a adoção de sistemas de padronização a fim de assegurar que as atividades sejam realizadas sempre em uma mesma sequência pré-estabelecida.

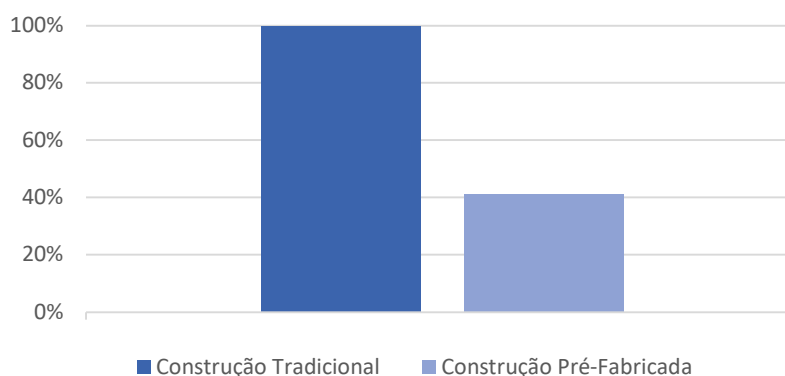
Segundo Liker (2007) a criação de processos padronizados é baseada na definição, clareza e utilização sistemática dos métodos definidos como padrões, que garantirão os melhores resultados possíveis. Conforme a empresa adquire prática, podem surgir novos métodos que geram resultados ainda melhores, por isso, a padronização deve acompanhar o conhecimento obtido e ser aprimorada com o tempo.

2.2.3 Tempo de Ciclo

Tempo de ciclo é o tempo decorrido necessário para execução da obra, desde a liberação do local da obra até a sua entrega. O tempo tem sido amplamente reportado como sendo o principal benefício da utilização de métodos de construção *off site* (BABA, 2009). A possibilidade de se adiantar etapas seguintes em outro local traz muita agilidade para a construção, sem ter a relação de dependência entre serviços que as obras de sistemas convencionais apresentam.

Foram realizados diversos estudos a fim de mensurar as reduções de prazo. No Brasil, foram feitos hospitais de 3.000 m² com 100 dias de fabricação e montagem, proporcionando uma obra de 5 a 6 vezes mais rápida que o sistema convencional de alvenaria e com um tempo total inferior até mesmo ao hospital executado na China, se considerado o tempo de concepção de projetos e planejamento (ARQUIPAPO, 2021). Este indicador torna-se ainda mais relevante no contexto em que foi executado, durante a pandemia de COVID-19, com alta demanda de leitos. No Reino Unido, realizou-se um estudo que resultou em uma redução de quase 60% de trabalho no canteiro utilizando sistemas pré-fabricados (NAO, 2015), disposto na Figura 2.

Figura 2 - Trabalho no canteiro utilizando sistemas pré-fabricados



Fonte: National Audit Office (2015).

A redução do tempo de ciclo é fator determinante, por ter os demais benefícios como reflexo deste. A sustentabilidade, segurança na obra, influência no canteiro e custo são beneficiados com a redução do prazo.

2.2.4 Sustentabilidade

A redução de geração de resíduos é a primeira e mais clara vantagem do sistema pré-fabricado quanto à sustentabilidade. Ascelrad (1999) explica o conceito de sustentabilidade e ressalta, entre outras, a matriz da eficiência, que pretende combater o desperdício da base material do desenvolvimento. O desperdício de material é algo muito recorrente nas obras, desde o recebimento, ao armazenamento indevido, à má dosagem na execução, se perde boa parte do material (AGOPYAN *et al.*, 2003). O setor apresenta índices excessivos de desperdício quando comparado com os praticados em ambientes industriais, por conta do maior controle do processo que a fábrica propicia. Baldwin *et al.* (2009) confirmam a significativa redução de resíduos quando se utilizam elementos pré-fabricados em detrimento da construção *in situ*.

O cuidado no controle de qualidade dos processos de manufatura permite que os resíduos sejam controlados e minimizados, através do design apropriado e oportunidades de reciclagem (WASKETT, 2001, p.9, tradução nossa). É recomendado conceituar o projeto já considerando os sistemas pré-fabricados, a fim de ganhar maior otimização de recursos, projetando de forma a se ter o melhor aproveitamento possível dos materiais. Ademais, na escolha dos sistemas, pode-se prezar por painéis com isolamento, que diminuem a necessidade de climatização artificial, visando a uma construção mais sustentável e reduzindo custos.

Fora as questões de resíduos, a redução de tempo de obra *in situ* agride menos o entorno, Conforme Couto e Couto (2007), tendo menores impactos em fatores como desgaste do solo, emissão de poluentes, ruídos de obra e gastos de água e energia.

2.2.5 Custo

Ainda muito debatido, o custo é visto como uma vantagem da pré-fabricação, em função das demais: aumento na produtividade, redução do prazo de obra, antecipação do faturamento, aproveitamento dos materiais e redução de instalações de canteiro e equipe. No entanto, um dos principais motivos que atualmente inviabilizam a adoção de sistemas pré-fabricados é o custo do material de sistemas industrializados (SCHWARK, 2006). Um dos fatores que levam ao custo elevado é ainda não se ter total celeridade no processo que permita a redução de custo (ARQUIPAPO, 2021). Outro fator que afeta na análise é a falta de conhecimento dos reais ganhos de custo que a redução de prazo e imprevistos acarreta, dificultando mensurar o custo final.

O custo dos materiais – principalmente em casos de estrutura de aço – é mais elevado, principalmente em 2020 em que o aço sofreu um incremento de 108% no preço nas distribuidoras (FERRAMENTAL, 2021). Outro custo relevante é o de transporte, que pode inviabilizar a adoção do sistema em alguns casos, por ter de superdimensionar o material da estrutura para ter a robustez necessária para resistir aos esforços do transporte sem danos à estrutura e seus revestimentos (LU; LISKA, 2008). Ainda assim, tem de se ter em mente que quanto mais industrializada, menos incertezas, que levam a menos retrabalho e menos gastos não previstos, além de reduzir a necessidade de andaimes, custos de fiscalização e manutenção. Conforme Schwark (2006), boa parte das construtoras se baseia na análise detalhada dos custos dos insumos, acabando por esquecer os efeitos da inovação no contexto geral da obra e suas reduções de custos indiretos, banindo a maioria das boas ideias.

2.2.6 Qualidade

Conforme Feigenbaum (1983), pode-se definir a qualidade no âmbito técnico como o grau no qual um produto é conforme sua concepção, ou seja, o compromisso com o planejado. Em ambientes controlados, tem-se uma maior precisão no produto final, sendo mais fiel ao projeto inicial. A fabricação na indústria promove um ambiente que não depende de condições externas, como chuva e intempéries, tendo menos imprevistos e maior controle sobre o resultado. Tendo o trabalho no canteiro como suscetível a imprevistos e vulnerável às condições climáticas, um dos fatores mais imprevisíveis no planejamento, a construção dotada de pré-fabricados reduz o risco de atrasos e assegura as exigências do projeto (LU; LISKA, 2008).

Outro ganho na qualidade está na possibilidade de realizar ensaios nos componentes antes de sua montagem no local, permitindo correções ainda na fábrica. Isso traz muito mais confiança ao sistema e segurança para a obra.

Um termo muito importante a ser utilizado é a tolerância, que diz respeito à variação admissível da dimensão de um determinado componente, do projeto ao executado. Conforme Faria (2005), amplitude de tolerância é o valor numérico da diferença dimensional admissível. Tendo em vista o viés da pré-fabricação, esse conceito deve ser amplamente trabalhado e cuidado para assegurar que o sistema respeite a tolerância máxima disposta em projeto, visto que o trabalho no canteiro deve ser mínimo e qualquer erro de dimensão pode gerar retrabalho. Trabalhar com precisão elevada e boa supervisão deve reduzir a quantidade de ajustes e realinhamentos necessários (WASKETT, 2001, p.9, tradução nossa).

2.2.7 Segurança do Trabalho

A probabilidade de acidentes em obra está diretamente relacionada a quantidade de horas de trabalho (COUTO; COUTO, 2007). Uma vez que os sistemas pré-fabricados reduzem significativamente o prazo de obra, também reduzem o tempo de exposição dos trabalhadores a seus riscos e grandes alturas.

O setor de manufatura é 6 vezes mais seguro que o setor da construção (BABA *et al.*, 2012). Questões de higiene e segurança são mais fáceis de controlar em um ambiente de indústria e demanda uma equipe reduzida, diminuindo possíveis acidentes. Além disso, outro fator importante é a ergonomia dos trabalhadores, que é considerada no planejamento da linha de produção.

Conforme Costella (1999), a maioria dos acidentes e doenças profissionais, equivalente a 44,3% dos casos, ocorridos na construção civil do RS em 1996 e 1997 foram sofridos pelos serventes, que são mais jovens e possuem pouca experiência. Por conta da mão de obra qualificada que é requerida pelos sistemas construtivos pré-fabricado, tende a diminuir o número de casos. Além disso, o sistema industrializado promove menos improvisos na execução que o sistema tradicional de alvenaria, conforme Bonesi (2014), o que pode minimizar a possibilidade de acidentes de trabalho.

2.2.8 Influência no Canteiro de Obras

Conforme a NR-18 (BRASIL, 2015), o canteiro de obras pode ser definido como a área de trabalho fixa e temporária, onde se desenvolvem operações de apoio e execução de uma obra. Com a adoção de sistemas pré-fabricados, a fábrica passa a ser o local de execução de uma parcela mais significativa da obra, promovendo a simplificação do canteiro.

Quanto ao planejamento do canteiro, Formoso e Ino (2003) definem como o planejamento do layout e da logística de suas instalações provisórias, instalações de segurança e sistemas de movimentação e armazenamento de materiais. As instalações provisórias, que são dimensionadas conforme o histograma da obra, e as áreas de armazenamento de materiais sofrem uma grande redução de necessidade de área, por trabalhar com equipes mais enxutas em canteiro e diminuir a necessidade de estocagem de material no local. Assim, a obra apresenta

ganhos através da simplificação das instalações e redução de prazo, tendo em vista que várias instalações e maquinários são locados.

Ainda assim, o planejamento não é simplificado, tendo que se dar enfoque aos acessos pelos quais os caminhões (de porte conforme a obra) devem transitar com o carregamento de material pré-fabricado e estudar o posicionamento de guindastes de içamento das peças (SOARES, 2016).

3 MÉTODO

Inicialmente, realizou-se a pesquisa bibliográfica acerca do assunto para servir de embasamento dos conhecimentos teóricos. Para a pesquisa, buscou-se entender os principais fatores que influem na industrialização da construção, como são classificadas as diversas soluções quanto ao seu nível de pré-fabricação e quais as dificuldades identificadas pelas empresas atuantes no mercado.

Através da pesquisa feita, foi possível relacionar os aspectos a serem analisados nas empresas. Foi elaborado um questionário semiestruturado para aplicar em empresas atuantes no mercado, com as perguntas:

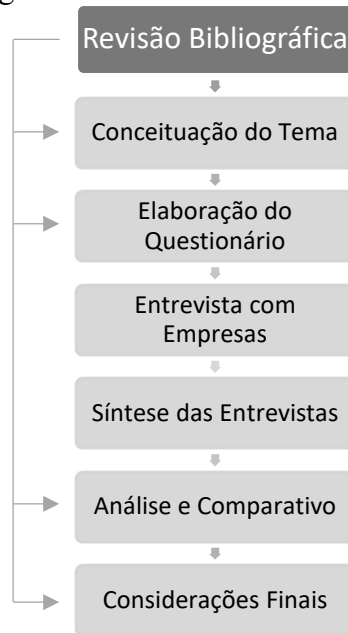
- 1. Breve história da empresa e do produto
- 2. Quais as normas utilizadas para execução?
- 3. Como é feito o transporte e quais os limitantes do produto em função deste?
- 4. Como é feita a instalação no local e com quais equipamentos?
- 5. Quais as interfaces apresentadas pelo sistema em obras e as principais dificuldades de compatibilização?
- 6. O que é necessário estar feito na obra?
- 7. Qual o *lead time* que estão trabalhando atualmente?
- 8. Os projetos são compatibilizados previamente ou pela empresa?
- 9. Quais os problemas mais recorrentes que estão enfrentando?
- 10. Qual a precisão e tolerância na fabricação?
- 11. Qual a mudança de produtividade comparada ao método tradicional?
- 12. Qual a mudança de custo comparada ao método tradicional?

Contatou-se quatro empresas atuantes no mercado, de diferentes portes e sistemas de produção, para realizar entrevistas individuais e aplicar o questionário, que contempla diferentes aspectos da pré-fabricação. No caso de uma empresa não foi possível realizar a entrevista, tendo apenas as informações das respostas do questionário.

Por fim, sintetizou-se as informações obtidas, verificando-se convergências e divergências para montar um quadro comparativo, seguido da análise dos resultados e considerações finais.

O delineamento do trabalho seguiu as etapas elencadas acima, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Delineamento do Trabalho



Fonte: elaborado pelo autor.

3.1 Definição das categorias e parâmetros do quadro comparativo

Para a definição dos parâmetros do quadro de comparação, utilizou-se o método descrito por Franco (2005), com a criação de categorias *a posteriori*, com base no conteúdo advindo das entrevistas, analisando convergências e divergências.

Das perguntas enumeradas no item 3, a pergunta 1 foi utilizada para caracterização das empresas no item 4.1. Além disso, definiu-se a primeira categoria de comparação do quadro como produto, com base na pergunta 1, visto que seus aspectos se mostraram variáveis, com parâmetros de estrutura (portante ou não portante), inclusão de instalações complementares em fábrica, revestimentos internos, revestimentos externos e inclusão de esquadrias em fábrica. Ainda pertinente à categoria de produto, temos a classificação do sistema conforme o nível de pré-fabricação (GIBB, 2001), enquadrada pelo autor. A pergunta 2 apresentou respostas muito diferentes, necessitando de um estudo mais aprofundado para sua análise, não sendo contemplada no quadro comparativo.

As perguntas 3, 4 e 8 mostraram-se referentes ao domínio da obra, resultando na segunda categoria do quadro, com os parâmetros de execução da totalidade da obra, instalação na obra por parte do contratante ou da empresa entrevistada e compatibilização de projetos externa ou por parte da empresa.

Quanto às perguntas 5, 6 e 10, identificou-se a aproximação de conceitos em torno de interfaces, assim, sendo a terceira categoria do quadro, com a abertura dos parâmetros: interfaces do sistema, estágio da obra no qual se inicia o serviço da empresa e tolerância na fabricação e na conectividade entre as peças na execução.

As perguntas 7, 11 e 12 fazem referência a questões de desempenho do sistema, resultando na quarta categoria do quadro comparativo. Quanto aos parâmetros, temos o *lead time*, referente ao tempo decorrido da contratação até a entrega do produto, tamanho de obra de referência para contextualizar o tempo informado e diferença de seu sistema construtivo em relação ao tradicional nos quesitos de produtividade e de custo. A pergunta 9 mostrou-se de difícil representação em formato de quadro, sendo analisada separadamente no item 4.3.9.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Empresas Envolvidas e caracterização de cada empresa e produto

4.1.1 Empresa A

Empresa de médio porte, com mais de 40 anos de história, porém recente início na atuação no ramo da construção pré-fabricada. Iniciou como representação de produtos para couro, com posterior mudança de segmento. Em 2006, para solucionar um problema de condensação no *OSB* em coberturas feitas com a telha *shingle*, a empresa produziu um painel composto de duas chapas de *OSB* com núcleo injetado com poliuretano. Essa cobertura foi instalada na residência de praia dos proprietários e despertou a atenção pela resistência do conjunto. Ao buscar referências internacionais, identificaram que este sistema já existia e era denominado como *Structural Insulated Panels*, que corresponde a painéis estruturais com isolamento, abreviado como *SIP*, usado há mais de 60 anos nos Estados Unidos e Europa. A empresa buscou os fornecedores de *OSB* no Brasil para desenvolver este sistema, foco desta análise, que acabou ocorrendo em 2017 com uma empresa de um grupo americano, que eram o maior fabricante mundial do substrato. A Figura 4 mostra uma casa feita utilizando o sistema da empresa.

Figura 4 - Casa em execução com o sistema construtivo da empresa A



Fonte: site da empresa A.

Desde então, a empresa forneceu painéis para 20 obras, inicialmente com o objetivo de atuar como vedação vertical até compor a estrutura principal da casa. Um dos principais exemplos da eficiência do sistema foi a construção da parte estrutural de casas de 40 m² em 2 dias.

4.1.2 Empresa B

Empresa de grande porte, com mais de 250 funcionários, fundada em 2009 com a grande demanda do setor da construção civil, a empresa buscou soluções tecnológicas em outros países que se adequassem às necessidades da sociedade brasileira com o objetivo de industrializar a construção civil e, após extensiva pesquisa, optou-se pelo *wood frame*. Inicialmente, recorreram a recursos em editais de inovação para desenvolver a tecnologia do sistema construtivo próprio, com parcerias nacionais, da Alemanha e do Canadá. Com aprofundado estudo, utilização de tecnologia alemã e aportes de parceiros, implantaram a primeira fábrica da empresa, no município de Pinhais, Curitiba. A fábrica contava com 400 m², uma equipe de seis funcionários e produtividade de 80 m²/dia. A primeira casa foi construída em 2010 e está localizada no município de Almirante Tamandaré, no Paraná (Figura 5).

Figura 5 - Casa construída pela empresa B



Fonte: site da empresa B.

O sistema até então era com painéis abertos, compostos por montantes de pinus, *OSB*, membrana hidrófuga e placa cimentícia, preparado em fábrica para posterior execução das instalações elétricas e hidráulicas, seguido do chapeamento interno em *OSB* e colocação do gesso acartonado. Em 2013 o sistema mudou para um processo com painéis fechados, já com as instalações embutidas e chapeamento em ambiente fabril, restando apenas a montagem e arremates finais a serem realizados em campo.

Em 2014, a empresa migra o seu centro de operações para a cidade de Araucária, com uma nova área de 2600 m² e capacidade de produção de 385 m²/dia, quase 5 vezes maior, por conta da linha automatizada de produção que foi implementada.

A empresa presa pela constante evolução e utilização de tecnologias, avaliando e modificando seu produto buscando otimizar seu processo. Além dos painéis, a empresa agora conta com kits para otimizar as instalações elétricas e hidráulicas, além de módulos de construção pré-fabricada volumétrica para banhos e cozinhas. Seu processo executivo é feito 75% em fábrica, restando 25% a ser realizado na obra.

4.1.3 Empresa C

Empresa de médio porte, é parte de um grupo de empresas que tem sua história iniciada na década de 70. Sempre buscando a inovação, iniciou com pré-moldados de concreto e posteriormente com a construção pré-fabricada. O grupo busca estar atento às tecnologias, buscando expertise de outros países como Alemanha e Espanha.

A tecnologia modular adotada pela empresa foi trazido da Alemanha, que, em parceria com universidades, chegou a um produto exclusivo e de alta qualidade que permite construir com rapidez. O objetivo principal era de levar para dentro do parque fabril todo o processo de construção, aumentando os controles sobre os processos e ganhando qualidade, reduzindo desperdício de materiais e tempo de obra. A estrutura dos módulos é de aço conformado à frio, galvanizados – processo executado a fim de garantir a não oxidação dos perfis – e pintados. Essa conformação permite leveza assegurando rigidez estrutural ao mesmo tempo. Os painéis arquitetônicos utilizados para a fachada são em *Glass Fiber Reinforced Concrete*, que corresponde a concreto reforçado com fibra de vidro, abreviado como *GRC* ou *GFRC*, e são conectados à estrutura do módulo através de um bastidor metálico que é previamente fixado ao painel de concreto. Essa tecnologia é amplamente utilizada nos Estados Unidos, Japão e em

países da Europa, por permitirem a criação de painéis de fachada leves, resistentes e de baixa manutenção.

Através desse sistema permitem uma solução completa e personalizada do projeto ao acabamento do produto. A empresa busca realizar todos os sistemas de construção na fábrica, tendo esquadrias, instalações e acabamentos feitos previamente, prezando pelo mínimo de trabalho no local. No modelo adotado pela empresa, cerca de 80% da obra é realizada em ambiente industrial. Uma vez que os módulos chegam à obra, são içados para compor a edificação (Figura 6).

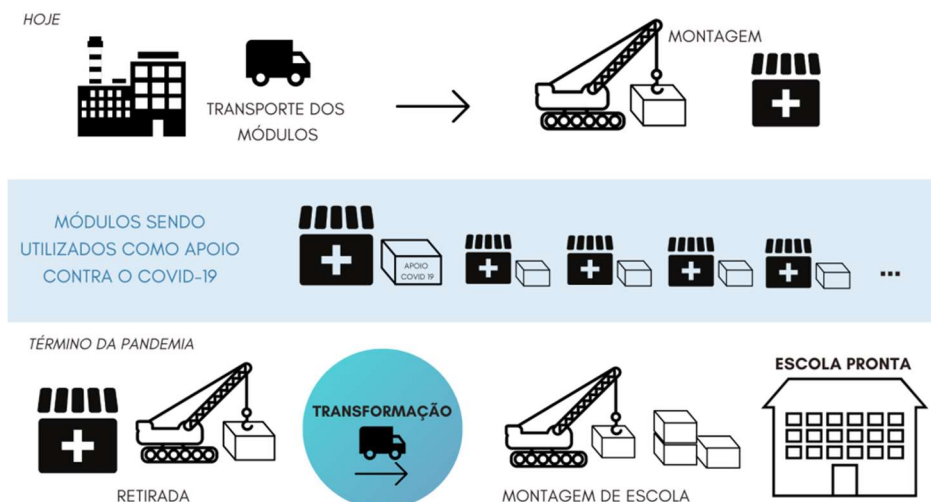
Figura 6 - Módulo da empresa C sendo içado



Fonte: site da empresa C.

No cenário da pandemia, a empresa prezou por um modelo de negócio sustentável e elaborou módulos que podem ser utilizados como postos de triagem, postos de vacinação e extensão de postos de saúde que podem ser reaproveitados posteriormente para outro propósito. Assim, evita-se que as estruturas virem obsoletas e redestinam-as para a produção de uma escola, como exemplificado na Figura 7.

Figura 7 - Modelo de reutilização de módulos da empresa C



Fonte: site da empresa C.

A empresa está presente em todo território nacional, com duas unidades de fabricação, em Pojuca, BA e Ivoti, RS. São referência em tecnologia com a construção de módulos industrializados, e já forneceram mais de 100 unidades penitenciárias e escolas em todo o território brasileiro.

4.1.4 Empresa D

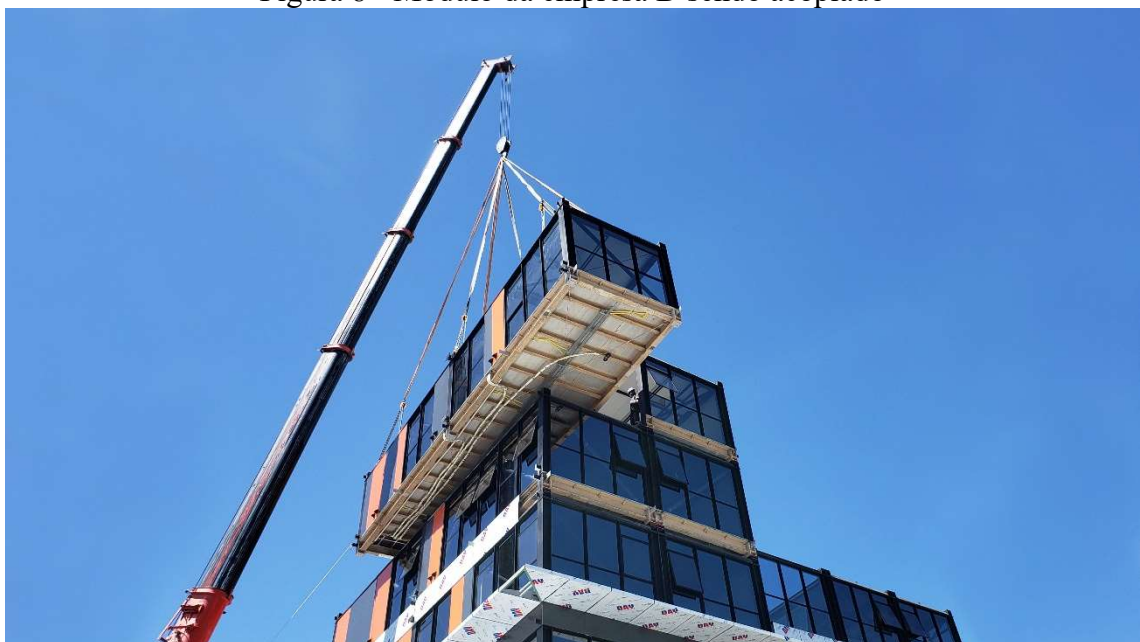
Empresa de grande porte, com mais de 450 colaboradores, a empresa nasceu em 2016, ansiando por construções ágeis, realizadas com inteligência, rapidez e praticidade, aliadas a um maior padrão de qualidade e sustentabilidade. O fundador trouxe consigo uma bagagem de 15 anos de trabalho em estrutura metálica, aliando os conhecimentos de engenharia civil e de produção, para desenvolver a solução dos módulos executados pela empresa.

O método empregado é a construção *off site*, com a execução dos módulos completos a serem entregues prontos para utilização, com todos os sistemas desde a estrutura, instalações elétricas e hidráulicas, ar-condicionado, cabecamentos e revestimentos externos e, opcionalmente, internos.

A empresa ganhou repercussão em 2020, quando fechou uma parceria com uma empresa reconhecida a nível nacional que atua no fornecimento de aço e por sua atuação na execução de hospitais em meio à pandemia: 5 hospitais de estados diferentes em uma duração total de 115 dias, com momentos de trabalho concomitante em 3 hospitais distintos. Para a execução dos hospitais, formou-se uma parceria entre a empresa D, que executava o módulo a ser acoplado no local, e a empresa B, que fornecia as paredes utilizadas nos módulos, trazendo ainda mais agilidade às obras.

Ao longo de 4 anos, executou mais de 150 obras, com a produção de mais de 500 módulos, presentes em 13 estados brasileiros. Recentemente finalizou o maior edifício de construção *off site* da América Latina, que conta com oito pavimentos e 56 módulos, com uma duração de 100 dias para fabricar e executar, sendo 20 destes exclusivamente para o acoplamento dos módulos no canteiro. A montagem do edifício está disposta na Figura 8.

Figura 8 - Módulo da empresa D sendo acoplado



Fonte: site da empresa D.

4.2 Quadro comparativo com principais parâmetros

Através das entrevistas e questionários aplicados, pode-se elencar alguns parâmetros principais para comparar as empresas. Assim, seguindo o conceito de Gibb (2001), tem-se as empresas dispostas de menor a maior nível de pré-fabricação no Quadro 1, com conseqüentemente grau de aproveitamento dos potenciais benefícios advindos da industrialização do processo.

Quadro 1 - Comparativo de parâmetros entre as empresas entrevistadas

Empresa	A	B	C	D	
Produto	Nível de Pré-Fabricação	Linear	Linear	Modular	Modular
	Produto	Painéis Autoportantes	Painéis Autoportantes	Módulo Completo	Módulo Completo
	Estrutura	Portante	Portante	Portante	Portante
	Instalações Complementares	Não, opcional	Sim	Sim, exceto elétrica	Sim
	Revestimentos Externos	Placa Cimentícia	Placa Cimentícia	Customizável	Customizável
	Revestimentos Internos	Gesso Acartonado sem Acabamento	Gesso Acartonado sem Acabamento	Customizável	Customizável
	Esquadrias	Não	Sim, limitadas pelo tamanho	Sim	Sim
Domínio da Obra	Execução da Totalidade da Obra	Opcional	Sim	Sim	Sim
	Instalação na Obra	Contratante	Própria	Própria	Própria
	Compatibilização de Projetos	Opcional	Própria	Própria	Própria
Interfaces	Interfaces	Fundações; Ligação entre painéis; Esquadrias; Instalações Complementares; Estrutura.	Fundações; Ligação entre painéis; Esquadrias grandes.	Fundações; Ligação entre módulos; Instalações Elétricas.	Fundações; Ligação entre módulos.
	Estágio da Obra	Estrutura concluída	Fundações concluídas	Fundações concluídas	Fundações concluídas
	Tolerância	Centímetros	Milímetros	Milímetros	Milímetros
Desempenho	Lead time	1 mês 2 meses com modulação própria	3 meses	5 meses	30 dias
	Tamanho de obra de referência	150 m ²	6.000 m ²	1.800 m ²	1.300 m ²
	Produtividade	+20%	+300%	+400%	+400%
	Custo	+25%	-10% - 0%	Não informado	+10%

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Análise

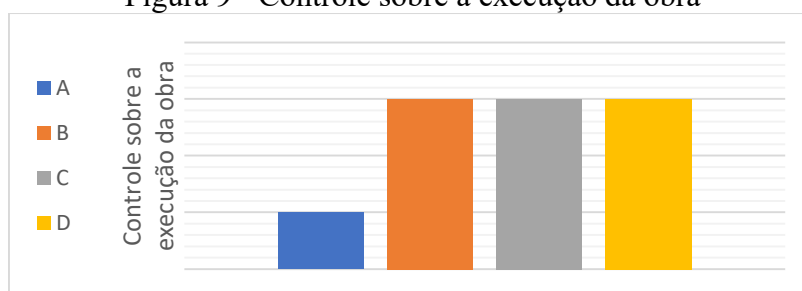
Inicialmente pode-se constatar a presença de duas empresas de cada nível de pré-fabricação, o que ajuda a analisar se as divergências podem ser causadas por particularidades da empresa ou se decorrem do nível de pré-fabricação adotado.

4.3.1 Mão de Obra de Execução

Duas grandes diferenças estão na execução da totalidade da obra e na instalação com mão de obra própria. A combinação destes itens mostrou-se muito importante para garantir os benefícios provenientes do sistema e observou-se que não depende do nível de pré-fabricação, uma vez que a empresa B tem o mesmo nível que a empresa A e executa a obra por completo. A empresa A possui a opção de executar toda a obra, mas atua mais como fabricante de painéis do que como construtora. Como foi reportado pela empresa, houve situações em que o restante da obra seguia outro sistema e, assim, a precisão milimétrica praticada nos painéis era desperdiçada com uma parede ou laje com a medida errada após sua construção, tendo que recortar ou agregar pedaços de painéis, reduzindo os ganhos que o sistema promove e gerando retrabalho.

As empresas ressaltaram que a mão de obra deve ser própria por ser mais qualificada, tendo em vista o alto grau de precisão requerido nestas obras. Isso reforça o indicado pela empresa A, sendo a obra executada em sistemas convencionais com uma mão de obra não tão especializada, gerando-se maiores desvios no projeto e inviabilizando a adoção de instalações e demais atributos industrializados, pois, em sua experiência, raramente ficam com a qualidade adequada para compatibilização com sistemas industrializados. Esse fator impacta diretamente no ganho de produtividade indicado pelas empresas, podendo-se observar que o valor da empresa A é inferior às demais, conforme Figura 9.

Figura 9 - Controle sobre a execução da obra



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.2 Produto

Em termos de produto, tem-se 3 divergências entre as empresas de pré-fabricação linear e as de construção modular, sendo estas a customização dos revestimentos externos, internos e presença de esquadrias no produto ainda em fábrica. Por conta do sistema, a pré-fabricação linear não suporta a inclusão de revestimentos muito diferenciados nos painéis, tendo em vista que estes serão bastante manuseados e empilhados para transporte. As paredes são preparadas de forma a suportar revestimentos e acabamentos diversos, mas para serem aplicados conforme desejo do contratante no local.

Quanto a esquadrias, torna-se mais difícil e mais arriscado sua inclusão devido à quantidade de manuseio, uma vez que os módulos são transportados e içados já na sua configuração final, enquanto os painéis são rotacionados e empilhados no caminhão. No entanto, nota-se que a pré-fabricação linear não é um impeditivo para sua adoção, visto que a empresa B elaborou diversos testes e conseguiu incluir as esquadrias em fábrica, mesmo empilhando os painéis para transporte, apenas com a limitação de esquadrias com dimensão maior a 1,8m, que são postas diretamente no local (como por exemplo as esquadrias para sacadas).

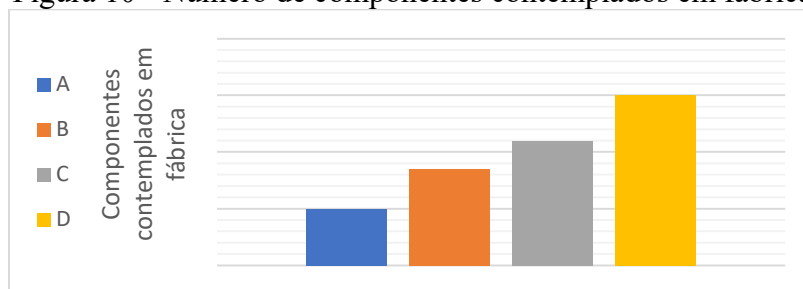
Além disso, observa-se como particularidade da empresa A, a não inclusão de instalações complementares. Em entrevista, o sócio diretor da empresa A comenta que por mais que se tenha a possibilidade de planejar toda a modulação em fábrica e incluir diversos atributos, como as instalações elétricas e hidráulicas, em geral os clientes acabam optando por comprar o painel

sem os sistemas embutidos, apenas com o acabamento em gesso acartonado, pela facilidade de corte e montagem no local. No entanto, nesses casos acaba por se perder as grandes vantagens do sistema. Agrega-se que, por conta de não executar a obra por completo, acabaria sendo dependente do trabalho de terceiros, perdendo a precisão prevista em fábrica e levando a dificuldades de compatibilização em obra.

Outra particularidade observada é a não inclusão das instalações elétricas pela empresa C, que aponta este quesito como uma dificuldade. A empresa posiciona as esperas para a instalação elétrica já em fábrica, porém requer a passagem da fiação no local, após a montagem dos módulos. A empresa ainda busca um sistema de conexão simplificada para adotar em suas obras.

A Figura 10 ilustra a comparação das empresas conforme o número de componentes contemplados em fábrica.

Figura 10 - Número de componentes contemplados em fábrica



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.3 Interfaces do Sistema

Nas interfaces existentes, observam-se diferenças de produto entre as empresas, como esquadrias e instalações. As 4 empresas enfrentam interfaces com a fundação (Figura 11), sendo esta a única etapa – contando com a movimentação de terra e preparação do terreno – que deve necessariamente estar concluída para dar início à montagem. Importante ressaltar que até mesmo a fundação, que não é executada pelas empresas analisadas, deve estar perfeitamente nivelada para dar-se início à obra, um fator que foi apontado como uma dificuldade pela empresa B. Além disso, todas as empresas apresentam a interface entre seus próprios painéis ou módulos, tendo cada uma a sua forma de fixação e conexão das instalações e revestimentos, que requerem ligações e arremates finais, respectivamente.

Figura 11 - Interface com a fundação da empresa C



Fonte: site da empresa C.

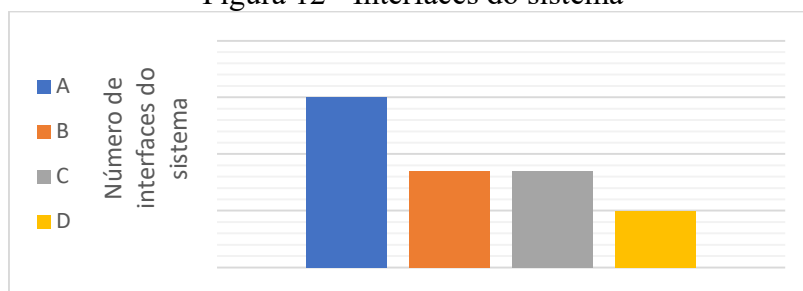
A empresa A é a única que costuma apresentar interfaces com sistemas de construção convencionais, característica que foi apontada como grande dificuldade pela empresa. Em geral, o serviço da empresa é executado quando a estrutura já foi realizada, tendo tanto a laje inferior como superior de interface. As instalações também são interfaces presentes no sistema, mas que em geral são realizadas na obra, recortando trechos do material já montado para passagem das tubulações necessárias ou através de *shafts*, sem necessidade de recorte dos painéis.

Observa-se que as interfaces entre o próprio sistema são um desafio complexo, exigindo alto controle de precisão para o encaixe perfeito, aumentando o tempo de planejamento, mas representam uma complexidade ainda maior quando são elementos produzidos por terceiros em métodos convencionais, por não serem controlados pela empresa e apresentarem variações dimensionais maiores que a do sistema pré-fabricado, o que reflete em um tempo de execução maior no local para adequar o sistema à obra.

A empresa C frisou a interface de fixação entre módulos, como apontado na análise do produto, além de eventuais sistemas construtivos estruturais ou de acabamentos, dependendo da obra.

A Figura 12 ilustra a comparação das empresas quanto ao número de interfaces em obra, se aproximando ao oposto do gráfico da Figura 10: quanto maior o número de componentes contemplados em fábrica, menor o número de interfaces na obra.

Figura 12 - Interfaces do sistema



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.4 Lead time

Por ser um parâmetro altamente variável, os entrevistados deram uma resposta aproximada para o *lead time*, como um valor médio analisando o histórico da empresa, relacionando com o tamanho de cada obra. Este parâmetro depende de outros fatores como padrão da obra e fatores externos à empresa como disponibilidade de material por conta dos fornecedores.

A empresa A estipula dois prazos, o primeiro caso já esteja modulado e necessite apenas da fabricação, sendo este de 1 mês, e o segundo caso o contratante solicite a modulação do projeto por conta da empresa, levando o prazo a 2 meses no total. Em geral, buscam que o projeto já venha modulado, na medida de 1200 mm, por não ser a principal área de atuação da empresa, mas ficam à disposição e oferecem esta opção. Como a empresa executa obras menores, o prazo informado se refere a uma residência de cerca de 150 m² executando-se todas as vedações.

Pode-se avaliar que a empresa B possui um tempo de planejamento maior que a empresa A, podendo ser devido ao porte da obra, ao fato de gerir todos os projetos e a baixa tolerância para variações na execução. O entrevistado da empresa B ressalta que 3 meses é o tempo padrão para um projeto de uma obra grande customizada (acima de 6000 m²), supondo que a fábrica não esteja sobrecarregada e que os fornecedores atendam à demanda sem grandes atrasos. Além disso, a empresa possui algumas obras padrão, como citado anteriormente, e no caso de se optar por uma dessas soluções, o *lead time* passa a não depender mais dos projetos, que já estão previamente executados, e o gargalo se torna a logística e disponibilidade de materiais.

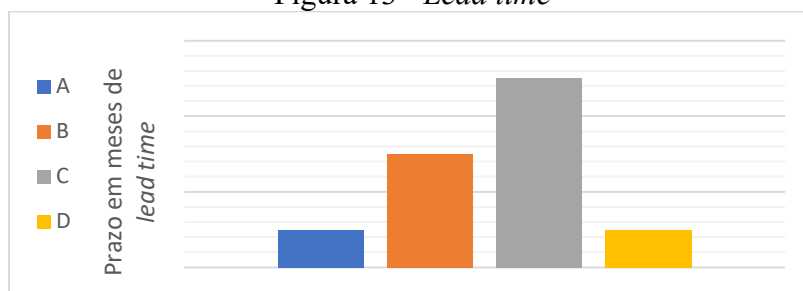
A empresa C afirma que é um parâmetro que depende muito do projeto e se possui alguma obra semelhante ao que está sendo proposto. Como base, dispõe da informação de uma obra de 1.800

m² executada em 5 meses, desde sua concepção até a entrega, com 3 meses de trabalho no local, contemplando a parte de fundações até a montagem dos módulos e finalização da obra.

A empresa D apresenta o prazo com a concepção de arquitetura e orçamentação previamente acertados para negociação comercial, sendo o prazo de 30 dias referente ao desenvolvimento dos projetos arquitetônicos executivos, projeto estrutural, projetos complementares e compatibilização entre projetos, além da fabricação, transporte, montagem e acabamentos finais dos módulos, com os itens de obra civil como a fundação e pavimentação externa contemplados nesse prazo, sendo executados simultaneamente aos módulos, já no local. O prazo informado é referente a suas últimas obras de hospitais, que possuíam urgência em sua realização, de tamanho próximo a 1300 m².

Por ser muito dependente do projeto e cada empresa realizar obras de tamanhos e padrões muito diferentes, a comparação pode sofrer distorções, sendo ilustrada na Figura 13.

Figura 13 - Lead time



Fonte: elaborado pelo autor.

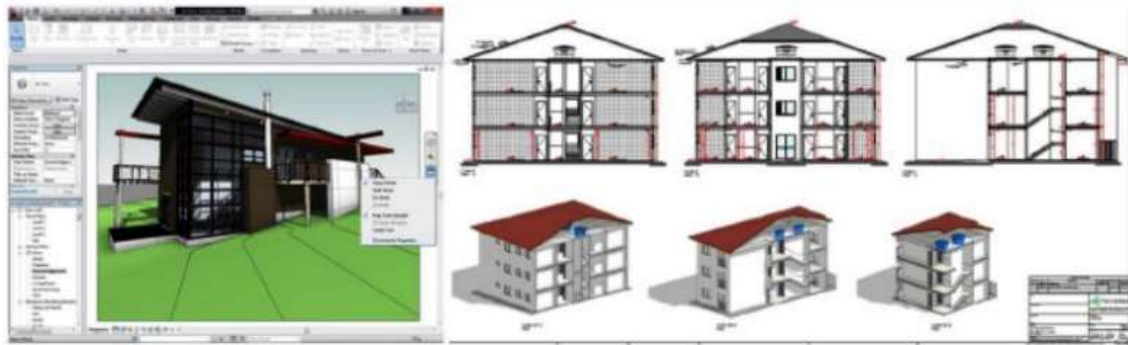
4.3.5 Compatibilização de projetos

Em geral, nota-se a necessidade da compatibilização de projetos pelas empresas, quando se trata de construção industrializada. Como este tipo de sistema ainda não é consolidado no Brasil e poucos profissionais são especialistas no assunto, acabam surgindo dificuldades para projetar a construção pré-fabricada desde sua concepção. Ainda assim, as empresas possuem alguns artifícios visando facilitar e agilizar o processo.

Ao contrário das demais, a empresa A afirma que costuma trabalhar com o projeto já modulado, mas isso se deve à simplicidade do sistema, nos casos em que não possui as instalações previamente executadas, empregando apenas o painel com a função de vedação e estruturação. Ainda assim, a empresa elaborou uma família de seus painéis em software de representação gráfica, utilizando-o para realização da modulação e extração de quantidades, aproximando-se de um maior grau de padronização do projeto, mas ainda não utilizando a metodologia BIM.

A empresa B afirma que é necessariamente responsável pela compatibilização, por conta do risco ligado a qualquer erro de projeto. Um excesso ou falta de fiação na parede, por exemplo, tem um impacto gigantesco na obra, que não está preparada para imprevistos e que tem seu valor agregado justamente na velocidade de execução. Assim, os projetos são extensivamente revisados a fim de evitar qualquer erro no futuro. Uma das soluções criadas foi a elaboração de projetos padrão, por atuar em linhas de residências de padrão emergente, justamente para otimizar recursos. Dessa forma, o contratante pode optar por um projeto pré-elaborado. Nota-se que, por trabalhar muito com maquinário, a empresa se beneficia com a padronização e repetitividade de projetos. São utilizados softwares BIM (Figura 14) para modelagem e, através de um software, tem-se as informações de produção dos painéis para a leitura das máquinas.

Figura 14 - Utilização de BIM pela empresa B



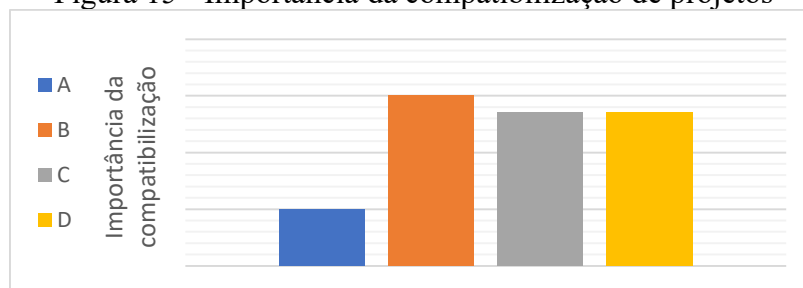
Fonte: site da empresa B.

A empresa C fornece um material básico com informações do sistema construtivo para arquitetos que desejam projetar utilizando os módulos, mas costuma ser a responsável pela compatibilização, referenciada pela empresa como transposição. Afirmam que caso o projeto já venha modularizado, ganha-se o tempo de transposição, mas que não é de grande relevância.

A empresa D comenta que é a responsável por elaborar a arquitetura da obra, com base em um programa de necessidades informado pelo cliente ou através de um projeto já elaborado, tendo que ser modularizado. Acaba por ser muito mais eficiente quando é conceituado pela própria empresa por projetar nas dimensões ideais para otimização logística e de recursos. Para a conceituação, utilizam softwares e plataformas específicas, nas quais parametrizam todos os módulos, assim, rapidamente conseguem avaliar a proposta do cliente e executar uma arquitetura conceitual, para posterior projeto executivo com detalhamentos. Utilizam diversos softwares BIM para a engenharia, com alguns projetos específicos sendo realizados por terceiros e compatibilizados posteriormente.

Por conta da maior utilização de maquinário, a empresa B situa-se levemente acima das empresas C e D no gráfico da Figura 15, quanto à importância da compatibilização.

Figura 15 - Importância da compatibilização de projetos

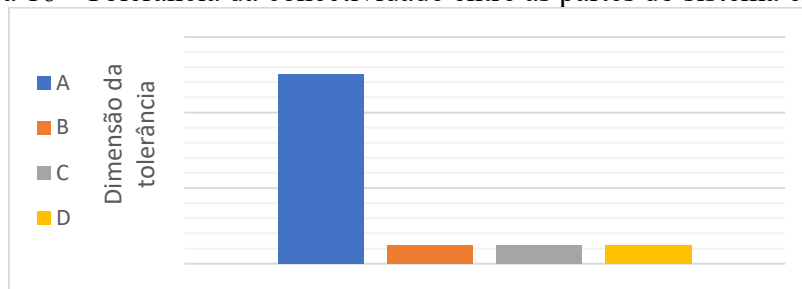


Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.6 Precisão e Tolerâncias

Todas as empresas possuem precisão milimétrica em seus produtos. Os painéis e os módulos possuem alto controle de qualidade, garantindo variações muito pequenas. No entanto, analisando a tolerância em questão da conectividade entre as partes, difere muito no caso da empresa A (Figura 16), que, como mencionado nos outros tópicos, tem interface direta com sistemas de construção convencionais, assim, teve de se adaptar à tolerância praticada pela obra. Devido a esse fator, a empresa decidiu simplificar seu produto e prezar por um sistema de fácil manipulação e que permite improvisações. Além de manter o produto sem as instalações e esquadrias, a solução da empresa está na fixação dos painéis com caibros ou perfis maiores, que suportam as diferenças de dimensões em caso de falta ou através de simples cortes do painel no local, em caso de excesso.

Figura 16 - Tolerância da conectividade entre as partes do sistema em obra



Fonte: elaborado pelo autor.

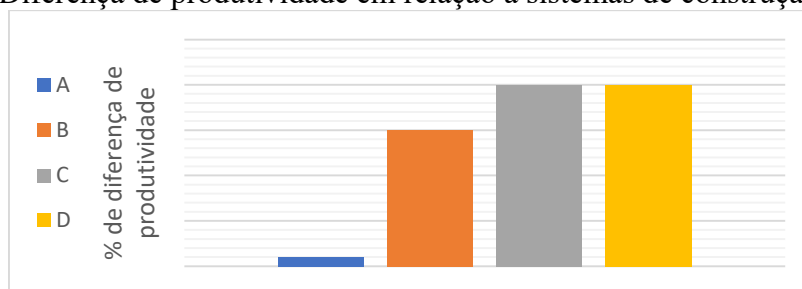
No caso das demais empresas, divergências de projeto com grandeza de centímetros não são aceitáveis e comprometem todo o projeto, causando retrabalho e pausas inesperadas. Mas, por executarem a obra completa, possuem o controle sobre as conexões de forma a garantir o encaixe com precisão milimétrica.

4.3.7 Produtividade

A diminuição de tempo de ciclo e conseqüente ganho de produtividade das obras foi analisado em relação aos sistemas convencionais conforme referencial teórico. Esse parâmetro também sofre variação de acordo com a obra e pode sofrer distorções.

Pode-se observar uma produtividade mais elevada na construção modular, que é mais industrializada, conforme dados informados pelas empresas (empresas C e D). A empresa B justifica que realiza estudos e o custo logístico não compensa o ganho na produtividade, enquanto a empresa A, pelas razões já citadas, resulta em uma produtividade inferior às demais pelo mercado em que está situado, não executando a totalidade da obra, ilustrado pela Figura 17.

Figura 17 - Diferença de produtividade em relação a sistemas de construção tradicionais



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.8 Custo

A variação de custo foi analisada em relação aos sistemas convencionais conforme referencial teórico, com valores positivos para os sistemas de custo superior. Por conta de sua grande variabilidade e dificuldade de mensuração, a empresa C retornou não haver uma análise própria quanto a esse indicador.

Todas as empresas dispõem de um custo direto mais caro, informado nas entrevistas. Um dos fatores agravantes no custo é a incidência de impostos, dependendo da forma de faturamento adotada pela empresa e classificação do produto, por meio do ICMS e IPI, enquanto no serviço incide o ISSQN, que é significativamente menor. Este fator é de grande impacto por conta de o

benefício da industrialização estar atrelada ao aumento de valor no produto e diminuição de mão de obra.

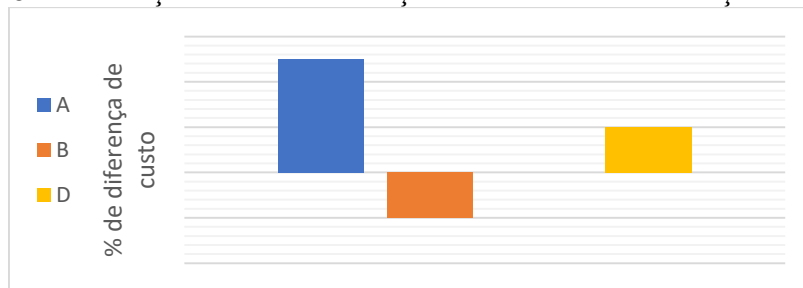
A empresa A apresenta um valor mais alto de custo, mas que é referente apenas ao escopo de seu serviço, utilizando suas paredes no lugar de paredes de alvenaria, sem um estudo existente quanto ao custo total da obra e sem levar em consideração os ganhos de custo indireto.

A empresa B apresenta o menor custo das empresas analisadas, em função do ganho logístico estudado e do material utilizado, que é mais barato que o das demais. Assim, o entrevistado reforçou que o custo direto do sistema é superior ao de sistemas convencionais, mas através dos ganhos de custo indireto o valor pode ficar igual ou até 10% mais barato.

A empresa D apresenta um custo em torno de 10% mais caro que o sistema convencional, mas ressalta que os ganhos de antecipação de faturamento são relevantes e podem abater essa diferença.

A Figura 18 apresenta os valores informados pelas empresas, com exceção da empresa C.

Figura 18 - Diferença de custo em relação a sistemas de construção tradicionais



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3.9 Dificuldades Recorrentes

Algumas dificuldades apontadas se aplicam a todas as empresas, como a cultura em torno da construção civil, o custo elevado de materiais e não possuir a real mensuração dos ganhos que o sistema promove.

Outro fator é a escassez de materiais e serviços específicos para a construção industrializada no Brasil, diferente dos Estados Unidos e países da Europa. As empresas ainda sinalizam dificuldade de encontrar mão de obra especializada para lidar com sistemas inovadores, como seus produtos exigem.

As empresas A e C, identificaram dificuldades em torno do material necessário para fabricação, além dos altos custos devido à pandemia do COVID-19. A empresa A ressaltou que um de seus limitantes é a dimensão da placa de OSB, não tendo poder de compra para solicitar o tamanho desejado e tendo de se adequar aos tamanhos padrão de outro país, que são inferiores ao desejado pela empresa.

A empresa C ressaltou a falta de cultura de planejamento no setor da construção civil. Para o sistema atingir seu aproveitamento máximo, toda a cadeia envolvida deve melhorar seu planejamento, uma mudança que vem sendo gradual devido ao fato de ser um ramo habituado a lidar com mudanças repentinas e ter o impulso de acelerar a fase de planejamento para avançar para a execução mais rapidamente.

Um fator muito importante abordado pelas empresas B, C e D é o fluxo ininterrupto de produção e montagem, devido à falta de flexibilização de seu processo que não suporta improvisos. A empresa D ressaltou, ainda, a dificuldade para obtenção de permissões e alvarás, que também devem ser agilizados a fim de não atrasar obra, já que a velocidade é sua vantagem, e manter o fluxo contínuo.

Assim, pode-se notar que as dificuldades das empresas se assemelham muito, com mais desafios em relação a adoção da industrialização do que ao nível de pré-fabricação adotado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiramente, deve-se atentar que o trabalho possui uma limitação: resultados analisados apenas qualitativamente, expondo as métricas informadas pelas empresas, assim, podendo prejudicar a comparação por conta da visão do entrevistado. Não foi objeto da pesquisa atribuir pesos aos requisitos e verificar sua influência no resultado final. Para adoção de pesos em trabalhos futuros, sugere-se uma revisão do uso de pesos e medidas em análises qualitativas. Os gráficos utilizados são apenas uma escala para melhor entendimento da comparação entre as empresas.

A industrialização mostrou-se como fator a ser considerado como solução nas dificuldades do setor da construção civil, apresentadas na introdução do trabalho: um processo ainda arcaico, com poucos avanços tecnológicos e com potencial não utilizado de ganhos de execução. Analisando as informações obtidas ao longo da pesquisa, constata-se que é possível adotar sistemas mais produtivos que os tradicionais, reduzindo prazos, promovendo respostas rápidas a situações emergenciais e com um processo mais sustentável.

O estudo do referencial teórico expôs que já se falava de industrialização na construção há muito tempo e a situação não mudou muito desde então. Ainda assim, notou-se uma fomentação do assunto recentemente, com a repercussão de obras pré-fabricadas na mídia no ano de 2020, durante a pandemia do COVID-19. Ao longo do trabalho, explorou-se os diferentes níveis de pré-fabricação conforme Gibb (2001), elencando suas principais atribuições e limitações, utilizando os itens estudados para elaborar o questionário e analisar suas respostas.

Revisitando o conceito de construção industrializada de Lessing (2015), adotado para o trabalho, identifica-se nas empresas entrevistadas um processo com alto controle e planejamento, com sistemas técnicos avançados, diversos níveis de pré-fabricação, uso de tecnologias e constante aprendizado e melhoria do produto com base nas experiências, não se limitando apenas ao uso da pré-fabricação para nomear seu processo como industrializado. Alguns itens como as relações de longa duração e foco no consumidor não foram analisados em todas as empresas por conta das informações limitadas obtidas. As empresas apresentaram alguns pontos interessantes que permitiram análises relevantes para o setor, como a importância de se ter o domínio completo da obra para garantir todos os potenciais benefícios que o sistema tem a oferecer, com controle de precisão e minimização de imprevistos, como praticado pelas empresas B, C e D.

No entanto, é interessante possuir uma opção para atender obras menores que suporte as características da obra, simplificando o produto e desenvolvendo técnicas que se adequam a realidade do local, como feito pela empresa A.

Ao final, pode-se observar que os fatores listados como benefícios do sistema no referencial teórico foram refletidos nas respostas das empresas, com exceção do custo, que variou conforme a empresa.

Como itens de potencial aprofundamento, ressalta-se o estudo de custo detalhado, considerando os ganhos indiretos e demais fatores envolvidos, o estudo de otimização de nível de pré-fabricação, como apontado pela empresa B, considerando o custo logístico em função do ganho de produtividade, e um estudo qualitativo com o comparativo do nível de pré-fabricação, por meio de parâmetros fixos como base para os valores de produtividade, *lead time* e diferença de custo, possibilitando uma comparação mais direta e menos subjetiva.

REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H. Discursos da sustentabilidade urbana. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [S.L.], n. 1, p. 79, 31 maio 1999. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR).

AGOPYAN, V. A construção civil rompendo paradigmas. In: FARIA, C. P. (Org). **Inovação em construção civil**: monografias. São Paulo: Instituto UNIEMP, 2005. p. 67-84.

- AGOPYAN, V., SOUZA, U.E.L, PALIARI, J. C., ANDRADE, A.C., Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra. In: FORMOSO, C. T., INO, A.(Ed.) **Inovação, Gestão da qualidade & produtividade e disseminação do conhecimento na construção habitacional**. Coletânea Habitare - ANTAC. Porto Alegre, 2003.
- ARQUIPAPO: **Industrialização na Construção**. [Locução de]: Gabriel Celligoi, Kazu Maoski e Ricardo Mateus. Spotify, 6 abr. 2021 *Podcast*. Acesso em: 12 abr. 2021.
- BABA, A. O. **Off Site Production: Benefits and its evaluation in sustainable construction towards low cost in Urban Housing Market**. 2009. Dissertação de Mestrado, London South Bank University.
- BABA, A. O.; JOSEPH, R.; SHAMIL, N. **Off Site Production and Benefits in the UK Construction Industry: theoretical approach**. Proceedings Of The 2012 (3Rd) International Conference On Engineering, Project, And Production Management, [S.L.], 10 set. 2012.
- BALDWIN, A; POON, C; SHEN, L; AUSTIN, S; WONG, I. Designing out waste in high-rise residential buildings: analysis of precasting methods and traditional construction. **Renewable Energy**, [S.L.], v. 34, n. 9, p. 2067-2073, set. 2009.
- BERTRAM, N. *et al.* **Modular construction: From projects to products**. McKinsey & Company, Junho 2019.
- BLACHÉRE, G. **Tecnologias da Construção Industrializada**. Coleção Tecnologia y Arquitectura, Editora Gustavo Gilli, Barcelona, Espanha, 1977.
- BONESI, F. M. **Avaliação do Impacto Provocado pelos Processos Construtivos Racionalizados nas Perdas por Making-do**. 2014. 112 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- BRANDÃO, D. Q.; HEINECK, L. F. M. Estratégias de flexibilização de projetos residenciais iniciadas na década de 1990 no Brasil: tão somente um recurso mercadológico? **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.7, n.4, p.71-87, 2007.
- BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18: Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr18.htm#18.13._Medidas_de_proteção_cont_ra_quedas_de_altura>. Acesso em: 10 maio de 2021.
- CALÇADA, P. A. B. **Estudo dos processos produtivos na construção civil objetivando ganho de produtividade e qualidade**. 2014. 90 f. Monografia (Graduação). POLI/ UFRJ/ Curso de Graduação em Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2014.
- CHANGALI, S., MOHAMMAD, A., NIEUWLAND, M. **The construction productivity imperative**. McKinsey & Company Home. Capital Projects & Infrastructure, Julho de 2015. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/theconstruction-productivity-imperative>>. Acesso em: 20 abril de 2017.
- COUTO, A. B.; COUTO, J. P. **Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-Fabricação**, Universidade do Minho, Guimarães, 2007.
- COSTA, P. **A construção modular e a industrialização no Brasil**. Disponível em: <http://www.enredes.com.br/blog/a-construcao-modular-e-a-industrializacao-no-brasil/>. Acesso em: 24 abril 2021.
- COSTELLA, M. F. **Análise dos acidentes do trabalho e doenças profissionais ocorridos na atividade de construção civil no Rio Grande do Sul em 1996 e 1997**. Porto Alegre, 1999.

150 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia (Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

COZZA, E. Ação em cadeia. In: FARIA, C. P. (Org). **Inovação em construção civil**: coletânea de artigos. São Paulo: Instituto UNIEMP, 2005. p. 57-58.

FARIA, J. A., **Apontamentos de Apoio à Unidade Curricular de Tecnologias e Sistemas Construtivos**. 2004. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

FARIAS, V. **A CONSTRUÇÃO CIVIL DO FUTURO É A INDUSTRIALIZAÇÃO**. 2018. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/a-construcao-civil-do-futuro-e-a-industrializacao-tecverde/>. Acesso em: 1 maio 2021.

FEIGENBAUN, A. V. **Total Quality Control**. Nova York: McGraw-Hill, 1983.

FERRAMENTAL. **Preço do aço praticamente dobrou em 2020**. Ferramental, 18 jan. 2021. Disponível em: <https://www.revistaferramental.com.br/?cod=noticia/preco-aco-praticamente-dobrou-2020/>. Acesso em: 26 abr. 2021.

FORMOSO, C. T. **Gestão e Controle de Qualidade**. 2016. Porto Alegre, NORIE/UFRGS, 2016.

FRANCO, M. L. P. B. **Análise de Conteúdo**. 2. ed. Brasília: Liber Livro Editora, 2005. 79 p.

GIBB, A. G. F.; ISACK, F. Re-engineering through pre-assembly: client expectations and drivers. **Building Research and Information**. Loughborough: Taylor and Francis, v. 31, n. 2, p. 146-160, Sept. 2003.

GIBB, A. G. F. Standardization and pre-assembly – distinguishing myth from reality using case study research. **Construction Management and Economics**. Loughborough: Taylor and Francis, v. 19, n. 3, p. 307-315, 2001.

GOULDING, J.; ARIF, M. **Offsite production and manufacturing**. Rotterdam: CIB, 2013. Research Roadmap Report n. 372.

GROHMANN, M. Z. **Redução do desperdício na construção civil: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas em Santa Maria**. In: Encontro nacional de engenharia de produção, 1998, Niterói. Anais. São Paulo, 1998.

HERVÁS, F. C.; RUIZ, M. I. V. Stakeholder requirements for open building manufacturing. In: KAZI, A. S.; HANNUS, M.; BOUDJABEUR, S.; MALONE, A. **Open building manufacturing: core concepts and industrial requirements**. Espoo: VTT – Technical Research Centre of Finland, 2007. p. 133-152.

IDC (International Data Corporation). **Digital Transformation: The Future of Connected Construction**. 2020. Disponível em: http://constructioncloud.autodesk.com/rs/572-JSV-775/images/Autodesk-IDC-Digital%20Transformation_The-Future-of-Connected-Construction.pdf. Acesso em: 14 maio 2021.

ISOLDI, R. A. **Tradição, Inovação e sustentabilidade**. 334 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFRGS, Porto Alegre, 2007.

LESSING, J. **Industrialised House-Building - Conceptual orientation and strategic perspectives**. 2015. Lund University (Media-Tryck).

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LINO, F. A construção civil rumo a industrialização. In: FARIA, C. P. (Org). **Inovação em construção civil**: coletânea de artigos. São Paulo: Instituto UNIEMP, 2005. p. 61-65.

LU, Na; LISKA, Roger W. Designers' and General Contractors' Perceptions of Offsite Construction Techniques in the United State Construction Industry. **International Journal Of Construction Education And Research**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 177-188, 2 dez. 2008.

MARÍN, B. **Como a China conseguiu erguer o hospital do coronavírus de Wuhan em 10 dias**. 2020. Disponível em: https://brasil.elpais.com/icon_design/2020-02-03/como-a-china-conseguiu-erguer-o-hospital-do-coronavirus-de-wuhan-em-10-dias.html. Acesso em: 15 abr. 2021.

NAKAMURA, J. **PRÉ-FABRICADOS: COMO INDUSTRIALIZAM A CONSTRUÇÃO**. 2019. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/pre-fabricados/>. Acesso em: 29 abr. 2021.

NAO (National Audit Office). **Using modern methods of construction to build homes more quickly and efficiently**. Londres, 2005.

ORDONÉZ, J. A. F. **Pre-fabricacion: teoría y práctica**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados. v.1. 1974.

PRODUTIVIDADE. In: MICHAELIS moderno dicionário da língua portuguesa. São Paulo: Editora Melhoramentos. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/produtividade/>. Acesso em: 4 maio 2021.

REID, J. **Innovative Application of Prefabricated Construction Techniques**. DETR Project Report, CR39/99, August 1999.

REVEL, M. **La prefabricacion em la construccion**. 1973. 1.ed. Bilbao: Urmo. 457p.

RODRIGUES, M. B. **Diretrizes para integração dos requisitos de construtibilidade ao processo de desenvolvimento de produtos de obras repetitivas**. 2005. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFRGS. Porto Alegre, 2005.

SALAS, S. J. **Construção Industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de pesquisas tecnológicas. 1988.

SANTOS, G. T., SANTOS, A. L., BRITO, F. J. A., SALIM, P. H. A. D., **Metodologia de Racionalização de Processos: Um Estudo Sobre a Integração de Ferramentas de Melhoria**. XXXI ENGEPE, Belo Horizonte, MG, 2011.

SERRA S. M. B.; FERREIRA, M.A.; PIGOZZO, B. N. et al. A Industrialização e os Pré-fabricados em Concreto Armado. Núcleo de Estudos e Tecnologia em Prémoldados (NET-PRÉ), Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos. In: **IV SIBRAGEC – Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**. Porto Alegre. 2005.

SILVA, A. **Reciclagem de resíduos produzidos pela indústria de pré-moldados em concreto na região de Chapecó - SC**. 2014. Especialize, 7-8.

SIRTOLI, A. S. C. **Industrialização da construção civil, Sistemas Pré-fabricados de Concreto e Suas Aplicações**. 2015. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SOARES, A. B. **Estruturas Pré Fabricadas na Engenharia Civil: Aplicações e Análise de Mercado**. 2017. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Anhanguera, Leme, 2017

SOUZA, U. E. L. **Como aumentar a eficiência da mão-de-obra: manual de gestão da produtividade na construção civil**. 1 edição. São Paulo. Editora PINI. 2006.

SCHWARK, M. P. Inovação – Porque o desinteresse na indústria da construção civil. In: FARIA, C. P. (Org.). **Inovação em construção civil**: coletânea de artigos. São Paulo: Instituto UNIEMP, 2005. p. 43-53.

WASKETT, P. **DTI Construction Industry Directorate Project Report**: Current practice and potential uses of prefabrication. Watford: Building Research Establishment Ltd 2003, 2001. 20 p.

ZHAI, X; REED, R; MILLS, A. Embracing off-site innovation in construction in China to enhance a sustainable built environment in urban housing. **International Journal Of Construction Management**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 123-133, 9 jun. 2014.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à professora Daniela Dietz Viana pela motivação e apoio durante toda a execução deste trabalho, agregando valor, conhecimento e direcionamento na pesquisa, e às professoras Dóris Zechmeister Bragança Weinmann e Lais Zuccheti, por suas contribuições no trabalho.