Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

ESTIMATIVA DE PRAZOS PARA MONTAGEM DE ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES COM ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

ESTIMATE OF TIMEFRAME FOR ASSEMBLY OF BUILDING STRUCTURES WITH PREFABRICATED CONCRETE ELEMENTS

Luiz Velloso de Andrade Júnior
Programa de Mestrado Profissional em Habitação, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT | São Paulo, SP | vellenge@bighost.com.br

Cláudio Vicente Mitidieri Filho
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, Programa de Mestrado Profissional em Habitação, IPT | São Paulo, SP | claumit@ipt.br

Olga Satomi Yoshida
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, Programa de Mestrado Profissional em Computação Aplicada | São Paulo, SP | olga@ipt.br

RESUMO

Neste artigo, resultado de pesquisa automotivada, os autores identificaram a oportunidade de trazer inovação para o setor de pré-fabricados de concreto. Em razão de sigilo, não são apresentados os dados fornecidos pelas empresas. Os resultados apresentados são preliminares, podendo ser aprimorados, como previsto pelos autores. O objetivo é propor modelos de estimativas de prazos de montagem de elementos pré-fabricados de concreto nas obras, com base na análise de dados de casos reais. Foram coletados dados de edifícios de diferentes usos, considerando variáveis relacionadas ao processo de montagem de pilares, vigas, lajes, painéis de fechamento e escadas. A análise dos dados considerou vários modelos de predição, a fim de identificar as variáveis mais significativas na estimativa dos prazos de montagem de elementos pré-fabricados de concreto. O método de pesquisa caracteriza-se pela prospecção, compilação e análise de dados de diversas variáveis, visando fazer estimativas de prazos de montagem. É uma pesquisa prospectiva, adotando-se variáveis pré-definidas passíveis de serem quantificadas. Como resultados são apresentados os fatores mais significativos e a acurácia das correlações para a estimativa dos prazos de montagem de edifícios pré-fabricados de concreto. É uma contribuição técnica importante para a indústria de pré-fabricados de concreto e para a cadeia de produção.

Palavras-chave: Estimativa de prazos para montagem, Edificações pré-fabricadas de concreto, Elementos pré-fabricados de concreto.

ABSTRACT

In this article, the result of self-motivated research, the authors identified an opportunity to bring innovation to the precast concrete sector. Due to confidentiality, the data provede by the companies are not presented. The results presented are preliminary and may be improved, as predicted by the authors. The objective is to propose models for estimating the assembly times for precast concrete elements in construction sites, based on the analysis of data from real cases. Data were collected from buildings with different uses, considering variables related to the assembly process of columns, beams, slabs, closing panels and stairs. The data analysis considered several prediction models in order to identify the most significant variables in estimating the assembly times for precast concrete elements. The research method is characterized by the prospecting, compilation and analysis of data from several variables, aiming to estimate assembly times. It is a prospective research, adopting predefined variables that can be quantified. The results show the most significant factors and the accuracy of the correlations for estimating the assembly times of precast concrete buildings. This is an important technical contribution to the precast concrete industry and the production chain.

Keywords: *Estimated assembly times, Prefabricated concrete buildings, Prefabricated concrete elements.*

ANDRADE JUNIOR, L. V.; MITIDIERI FILHO, C. V.; YOSHIDA, O. S. Estimativa de prazos para montagem de estruturas de edificações com elementos pré-fabricados de concreto. In: V WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2025, Florianópolis. ***Anais [...].*** *Porto Alegre: ANTAC, 2025.*

1 INTRODUÇÃO

O uso de pré-fabricados em edificações, particularmente com usos comerciais ou industriais, tem sido intensificado nos últimos anos, em razão da necessidade da redução dos prazos de execução das obras e colocação do estabelecimento em uso o mais cedo possível, logo após a construção, conforme a vivência e experiência dos autores. A qualidade na montagem em obra, tem sido um fator importante de decisão das empresas, bem como aspectos de desempenho, considerando aspectos de segurança, habitabilidade e durabilidade. Todavia, a previsibilidade dos prazos de montagem é fator decisório, seja para a fábrica, seja para o empreendedor.

Há diversos fatores ou variáveis que, a princípio, poderiam influenciar os prazos de montagem de estruturas ou de edifícios construídos com pré-fabricados de concreto, tais como: tipo ou uso da edificação, área total de construção da edificação, área dos pavimentos da edificação, número de pavimentos, altura total, pé-direito, vãos entre pilares, número total de elementos pré-fabricados e volume total de concreto dos elementos pré-fabricados.

O artigo traz os resultados parciais de uma pesquisa automotivada, realizada com o objetivo de identificar os fatores que influenciam de forma mais significativa o prazo de montagem dos elementos ou das peças pré-fabricadas de concreto, nas obras, e definir uma maneira de estimar tal prazo com base em análise de dados de obras já realizadas por empresas especializadas.

O problema de pesquisa é estudar variáveis de obras já realizadas e, por meio da ciência de dados, com o emprego de modelos matemáticos e técnicas estatísticas, estimar os prazos de montagem das peças pré-fabricadas de concreto em canteiros de obras, de toda a edificação, como contribuições ao processo de tomada de decisão desde o início do processo de desenvolvimento do empreendimento.

A pesquisa apresenta uma contribuição técnica para a definição de estimativas iniciais, para o prazo de montagem de edificações pré-fabricadas de concreto.

1.1 SISTEMAS CONSTRUTIVOS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO – UMA VISÃO SIMPLIFICADA

As edificações em pré-fabricados de concreto desenvolveram-se nos últimos anos em razão da facilidade de execução das obras, alta eficiência e capacidade de produção (Xu, 2020).

O projeto de sistemas construtivos em concreto pré-fabricado está relacionado com os processos de fabricação e montagem, integrando tecnologias de materiais, componentes e elementos, definindo ligações necessárias para a composição dos sistemas estruturais pré-fabricados, considerando tanto as etapas transitórias (içamento, transporte e montagem) quanto as definitivas. A qualidade do projeto deve atender às exigências de desempenho considerando o comportamento em uso, quando submetido às condições de exposição (Ferreira, 2013).

Os elementos pré-fabricados são produzidos em uma fábrica externa e depois transportados para o local de montagem, no canteiro de obras (Arashpour *et al*., 2018).

Os serviços de montagem devem ser objeto de um planejamento detalhado, no qual devem ser definidos os equipamentos a serem adotados e a sequência de montagem dos elementos, considerando as condições de acesso ao local da montagem. A seleção do sistema de transporte baseia-se nas quantidades a serem transportadas, no peso e geometria das peças, nas condições locais etc. e nas características dos equipamentos disponíveis, quanto à capacidade, velocidade, confiabilidade e custo. Para o planejamento de montagem deve-se observar a execução do Plano de *Rigging*, ou seja, um projeto de montagem dos elementos pré-fabricados, considerando a planta de locação da obra, as condições do local de montagem e o correto posicionamento do guindaste ou demais equipamentos durante a operação de montagem (ABCIC, 2019).

1.2 PRAZOS PARA MONTAGEM DE EDIFICAÇÕES PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO

Os prazos de montagem estão relacionados ao planejamento ou plano de montagem, sendo um dos itens mais importantes no sistema construtivo de pré-fabricados de concreto. A definição do prazo de montagem é de vital importância para reduzir os custos de montagem e aumentar a eficiência, minimizando as etapas envolvidas no processo de montagem (Zhai *et al*., 2023), sendo o número de peças um fator significativo na eficiência da montagem (Boothroyd *et al*., 2011). O tamanho, a massa e o formato dos elementos pré-fabricados são fatores que afetam as operações de montagem. A área de construção, o volume de concreto e o número de elementos pré-fabricados são parâmetros de avaliação da eficiência da montagem (Zhai *et a*l., 2023). Os trabalhos de montagem devem ser objeto de planejamento, ou seja, devem ser definidas a sequência de montagem, as condições de acesso, de escoramento provisório de cada fase e definidos os equipamentos de maneira geral (El Debs, 2017).

O plano de montagem deve conter diversas informações, tal como instrução de montagem de cada tipo de elemento, sendo que cada elemento a ser montado deve ter o registro da idade do concreto. Devem ser avaliadas previamente as ligações e as juntas, permanentes e temporárias, juntamente com seus detalhes construtivos. O plano deve prever a sequência de capeamento das lajes e evidenciar que os equipamentos e seu dispositivos auxiliares previstos para a montagem foram escolhidos corretamente e atendem às necessidades da obra; evidenciar ainda que os equipamentos estejam em condições de uso e apresentam seus planos de manutenção em dia. É importante ter evidências de reuniões entre o montador e o fornecedor de peças pré-fabricadas, nas quais são fornecidas informações relacionadas aos serviços de montagem, para maior segurança e transparência na relação entre o contratante e o contratado. A documentação de montagem deve ser analisada pelo responsável pelo projeto, que aprova as condições de montagem que serão adotadas, conforme a NBR 9062 (ABNT, 2017).

As tolerâncias dimensionais das peças, na indústria, e as tolerâncias de montagem, para a estrutura final, são definidas conforme a NBR 9062 (ABNT, 2017). São importantes fatores que influenciam a correta montagem de pré-fabricados, pois sofrem influência da locação do guindaste na obra, das formas de montagem e da localização de elementos de contraventamento, para garantir a estabilidade. Na sequência de montagem deve ser colocado o maior número de peças antes que o guindaste seja novamente movimentado (Doniak, 2008).

O transporte dos elementos pré-fabricados pode ser dividido em transporte interno e externo, conforme a NBR 9062 (ABNT, 2017). No transporte interno, o manuseio ocorre na fábrica, por intermédio de pórticos rolantes, carrinhos de rolamento, pontes rolantes, monotrilhos e outros equipamentos. O transporte externo está relacionado com o manuseio dos elementos da fábrica até o local de montagem no canteiro de obras. A descarga no canteiro de obras está condicionada às condições de acesso ao local de armazenamento ou de montagem, à capacidade de carga do equipamento e comportamento do solo. O transporte e a montagem são etapas críticas do processo produtivo, pois exigem uma logística complexa. A abordagem logística deve estar considerada desde a fase de concepção do projeto, passando pela fabricação e transporte, até a montagem no canteiro de obras. A logística facilita a resolução de interferências entre os serviços, a implantação do canteiro de obras e a definição do sistema de transportes (Silva e Cardoso, 2000).

A montagem é a parte final da cadeia logística que se inicia na fabricação dos elementos pré-fabricados. Para que a montagem ocorra conforme planejado, não podem ocorrer atrasos nos processos de fabricação e transporte dos elementos pré-fabricados de concreto.

1.3 PRINCIPAIS ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NA MONTAGEM DE EDIFICAÇÕES EM ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

Os principais aspectos que podem influenciar o prazo de montagem de edificações com peças ou elementos pré-fabricados de concreto estão considerados a seguir, bem como algumas atividades e disponibilidade de documentos técnicos, conforme a vivência e experiência dos autores.

1.3.1 Implantação do canteiro de obras

As condições dos acessos para transportar os elementos pré-fabricados da fábrica até o local de montagem no canteiro de obras devem ser previamente verificadas, de forma a identificar eventuais restrições ao trânsito; horários permitidos, curvas e inclinações dos pavimentos existentes no trajeto, altura da carga, em razão das

fiações e postes, viadutos e árvores. A avaliação das condições de acessos é uma atividade necessária quando da execução da visita técnica ao local de montagem no canteiro de obras. Em especial, considerar:

- previsão das vias de circulação internas do canteiro de obras e preparação do terreno para suportar o tráfego pesado de carretas e o “patolamento” de guindastes e outros equipamentos;
- previsão de áreas de armazenamento em locais próximos aos serviços de montagem; caso não seja possível o descarregamento e a montagem sequencial das peças. Nessas áreas o solo deve estar regularizado, se possível com um lastro de brita, e devem ser adotados apoios para manter o afastamento dos elementos pré-fabricados em relação ao solo;
- análise dos locais de montagem no do canteiro de obras, com previsão de espaços para a circulação de guindastes e carretas no perímetro da obra;
- análise das direções de montagem, de maneira a definir a melhor sequência de montagem dos elementos pré-fabricados;
- análise de vizinhança, para monitoramento de eventuais problemas como fissuras em edificações vizinhas, que podem surgir em razão de vibrações ocasionadas pelo tráfego pesado de carretas e equipamentos;
- identificação de obstáculos, riscos e interferências que possam prejudicar os serviços de acesso e montagem.

1.3.2 Instalações provisórias, áreas de vivência e apoio

Há várias providências a serem tomadas antes da execução da obra em si, ou seja, da montagem dos elementos pré-fabricados, que não podem ser negligenciadas, quais sejam:

- verificação do fornecimento de energia elétrica e água;
- previsão de áreas de vivência para as instalações sanitárias, vestiário, refeitório, área de lazer e ambulatório;
- previsão das áreas operacionais, como almoxarifado, salas administrativas e salas para os profissionais de engenharia.

Tais áreas são dimensionadas considerando o número de pessoas e de equipes de montagem necessário para atendimento aos prazos estipulados para execução dos respectivos serviços.

1.3.3 Definição dos projetos de montagem

Os projetos de montagem devem considerar as informações dadas pelo projetista da estrutura pré-fabricada e dos demais elementos não estruturais, considerando também as ligações transitórias e as permanentes, para evitar problemas nos serviços de montagem. Os projetos devem conter a identificação dos elementos pré-fabricados, com as respectivas dimensões, geometrias e massas, indicação de todos os níveis, cotas, eixos e detalhes a serem executados durante a montagem, de forma garantir a estabilidade da estrutura e dos demais elementos durante a fase transitória de montagem.

Há uma série de outros detalhes que devem ser previstos nos projetos de montagem, mas não é o objetivo deste artigo esgotar o assunto, mas somente alertar para a importância de tais projetos. A tabela resumo dos elementos pré-fabricados (dimensões, massas, volumes e quantidades), é essencial na definição do plano de carregamento para transporte dos elementos pré-fabricados, bem como na definição do tipo de guindaste, com relação à sua capacidade, altura de lança e velocidade de montagem.

As tolerâncias de montagem devem ser previstas considerando as relacionadas com fabricação, pois variam em função do tipo de forma, de processo de produção e de controle. As tolerâncias de montagem e de locação influenciam de forma significativa a montagem das vigas entre pilares. São previstas na NBR 9062 (ABNT, 2017), que limita as tolerâncias dimensionais dos elementos pré-fabricados, as tolerâncias de montagem da estrutura e as resultantes do posicionamento final dos elementos da estrutura.

É fundamental a realização de visita técnica ao canteiro de obras, com os projetos de montagem**,** para realização de verificações e esclarecimentos de todos os atores, incluindo a empresa de elementos pré-

fabricados, contratante, de preferência com seu representante técnico, fornecedores ou empresa de locação de equipamentos, dentre outros.

1.3.4 Planejamento da montagem

Definido o plano de cargas a serem transportadas, os equipamentos e acessórios de transporte a serem empregados, **é** definida a sequência de montagem e sua relação com a produção dos elementos na indústria, considerando a capacidade de transporte das carretas e de operação de guindastes. Esta fase é conhecida nas empresas de pré-fabricados como “peça a peça” de montagem, pois ela define o planejamento da montagem. Quando da elaboração do plano “peça a peça” há a necessidade de analisar as ligações entre os elementos, verificando se serão completadas na obra, pois isso impacta diretamente a produtividade da montagem. A relação “peça a peça” deve estar disponível na produção e na expedição da indústria, considerando as necessidades do plano de montagem no canteiro de obras. A sequência “peça a peça” deve prever o trabalho contínuo do guindaste, sem paradas indesejáveis, pois é equipamento de custo elevado.

O Plano de *Rigging* além de definir os equipamentos, as ferramentas e os dispositivos de içamentos necessários para os serviços de montagem, tem também a finalidade de resolver a questão da segurança versus o custo, no dimensionamento de guindastes. É elaborado por profissional habilitado, sendo que as empresas de locação de guindastes têm elaborado este plano, obrigatório em todos os serviços de montagem.

2 METODOLOGIA

Adotou-se o método de pesquisa exploratória e quantitativa, pois foi elaborada uma pesquisa com a intenção de definir os fatores com maior influência na montagem dos elementos pré-fabricados. A pesquisa foi desenvolvida por intermédio da coleta e da ciência de dados, com uma análise exploratória das variáveis e depois com modelos que permitissem identificar a correlação entre os fatores que mais influenciam o prazo de montagem.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi elaborado um questionário inicial, com base na literatura, discussões prévias com indústrias especializadas em pré-fabricados e na vivência profissional dos autores. Tal questionário foi aplicado em escala piloto, revisto e aplicado a várias empresas; os dados coletados foram compilados de forma a permitir a análise levada a efeito. Foram considerados dados de edificações comerciais, industriais, galpões logísticos, e supermercados.

No questionário constam as variáveis que poderiam influenciar nos prazos de montagem da estrutura ou da edificação, com estrutura mais vedações externas em elementos ou peças pré-fabricadas. As empresas que participaram da pesquisa dispuseram-se a fornecer dados de 16 empreendimentos; todavia, não foi autorizada a divulgação dos dados primários.

A ciência de dados combina ferramentas estatísticas, métodos e tecnologias para gerar significado a partir de dados. Envolve a análise de dados para determinar padrões e pontos de interesse para fazer previsões. Utiliza os modelos e métodos na análise de dados em situações do mundo real para fornecer resultados probabilísticos. Visa melhorar a eficiência com que os dados são processados e armazenados, com o objetivo de resolver problemas analiticamente complexos. É uma área multidisciplinar que combina técnicas de computação, matemática, inteligência artificial e otimização, para analisar dados.

Foi feita, em uma primeira etapa, uma análise exploratória, de forma a verificar as prováveis correlações entre as variáveis consideradas. As situações com dispersões menores, mostrando uma tendência de previsão, foram consideradas e, em uma segunda etapa, foram criados modelos preditivos, por meio da análise de regressões. O gráfico de dispersão possibilita construir uma regressão, determinando-se uma curva que aponta a relação entre duas variáveis e indica a função que permite determinar o comportamento da relação entre elas, Bussab e Morettin (2017). Nesta pesquisa foram também realizadas regressões múltiplas, ou seja, com diversas variáveis. Foram coletados dados de obras executadas por empresas especializadas, que se dispuseram a fornecer dados para a pesquisa. Foram considerados como principais elementos pré-fabricados de concreto: pilares, vigas, lajes, painéis de fechamento e escadas.

Para este estudo, foram selecionadas 05 (cinco) variáveis principais, a princípio consideradas relevantes para estimar o prazo de montagem. Todavia, as mais significativas foram as seguintes:

- Área construída da edificação (m²);
- Modulação dos vãos entre pilares (m²);
- Número total de elementos pré-fabricados (unid.);
- Volume total de concreto dos elementos pré-fabricados (m³),
- Prazo de montagem dos elementos pré-fabricados (mês).

A seleção destas variáveis foi resultante da análise exploratória que incluiu o cálculo de correlações de Pearson entre as variáveis, com os respectivos intervalos de confiança e valores-p, visando identificar relações significativas **(Tabela 1).** O valor-p indica a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, sob a hipótese nula. Ou seja, o valor-p pequeno significa que a probabilidade de obter um valor de estatística de teste como o observado é muito improvável, levando assim à rejeição da hipótese nula (Wasserstein e Lazar, 2016). Em termos mais simples, quanto menor o valor-p maior a probabilidade de haver alguma correlação entre as variáveis em estudo.

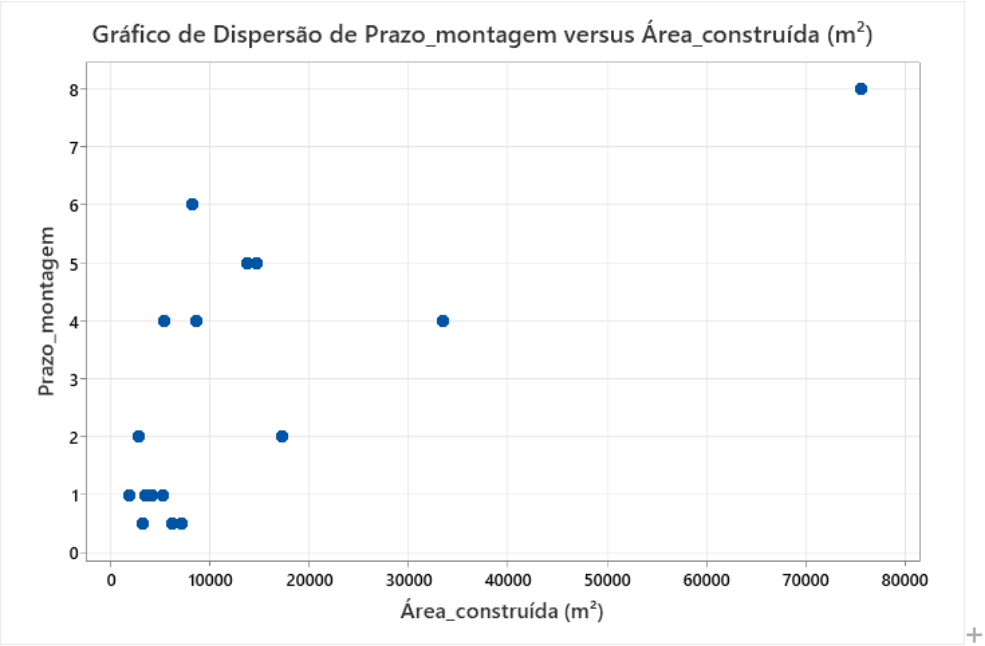
Tabela 1: Correlações de Pearson pareadas

AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	N	CORRELAÇÃO	IC DE 95% PARA P	VALOR-P
Vãos entre pilares (m)	Área_ construída (m²)	16	0,385	(-0,136; 0,740)	0,140
Número total_el_pré-fab (unid)	Área_construída (m²)	16	0,659	(0,242; 0,870)	0,006
Volume_tot_ele_pré-fabr (m³)	Área_construída (m²)	16	0,868	(0,654; 0,954)	0,000
Prazo de montagem (mês)	Área_construída (m²)	16	0,698	(0,309; 0,887)	0,003
Núm_tot_eleml_pré-fab (unid)	Modulação dos Vãos_pilares (m²)	16	-0,194	(-0,629; 0,334)	0,472
Vol_tot_elemnt pré-fab(m³)	Modulação dos Vãos_pilares (m²)	16	0,114	(-0,405; 0,577)	0,674
Prazo de_montagem (mês)	Modulação dos Vãos_pilares (m²)	16	-0,093	(-0,563; 0,422)	0,732
Vol_tot_ele_pré-fabr (m³)	Núm_tot_el_pré-fab (unid)	16	0,918	(0,776; 0,972)	0,000
Prazo de montagem (mês)	Núm_tot_el_pré-fab (unid)	16	0,967	(0,907; 0,989)	0,000
Prazo de montagem (mês)	Vol_tot_ele_pré-fabr(m³)	16	0,926	(0,796; 0,974)	0,000

Fonte: Os autores

Para ilustrar ou apoiar a visualização e interpretação dos dados, considerando a análise realizada, foram construídos gráficos de dispersão. Nos **Gráficos 1, 2, 3 e 4,** a título de exemplo, são apresentadas as dispersões observadas entre algumas das variáveis estudadas**. O Gráfico 1 é** o gráfico de dispersão considerando as variáveis prazo de montagem, em meses, e a área construída, em m².

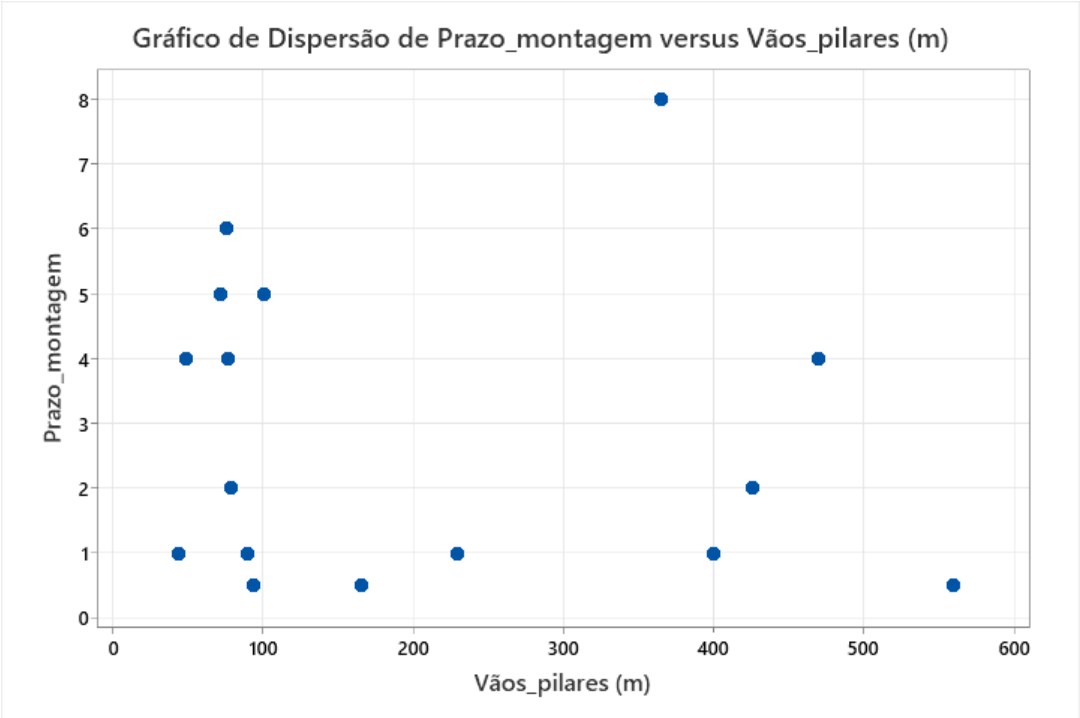
Gráfico 1: Dispersão de prazo de montagem (meses) versus área construída (m²)



Fonte: Os autores

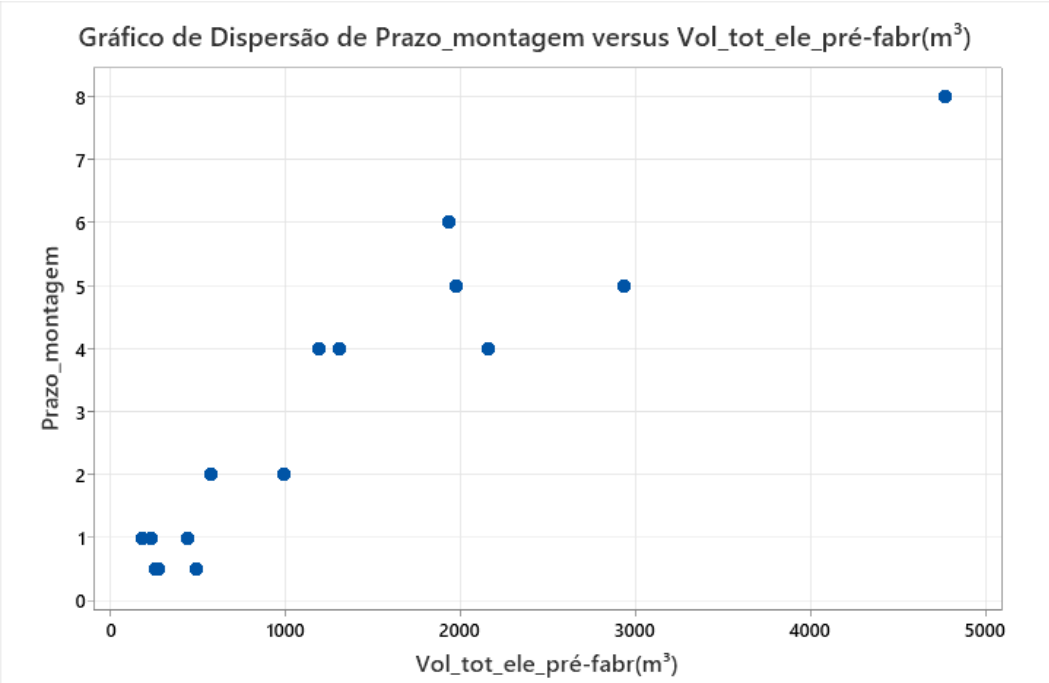
O Gráfico 2 ilustra a dispersão entre o prazo de montagem e o vão entre pilares e assim por diante.

Gráfico 2: Dispersão de prazo montagem (meses) versus modulação de vãos entre pilares (m^2)



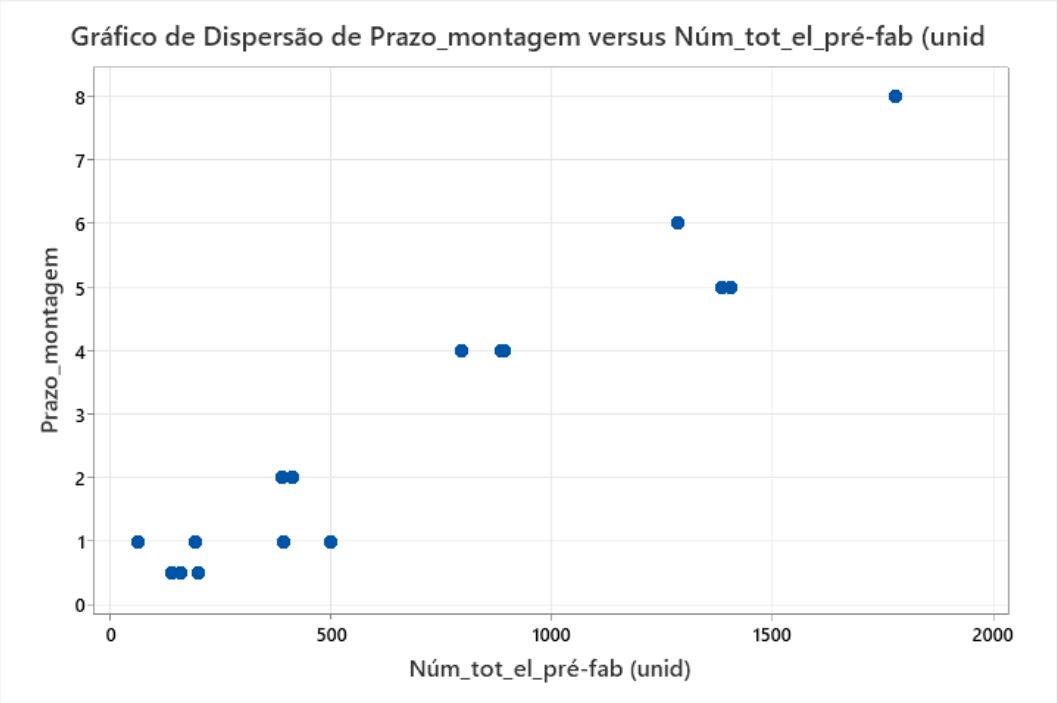
Fonte: Os autores

Gráfico 3: Dispersão de prazo de montagem (meses) versus volume total de elementos pré-fabricados (m^3)



Fonte: Os autores

Gráfico 4: Dispersão de prazo de montagem (meses) versus número total de elementos pré-fabricados (unid)



Fonte: Os autores

Visualmente, é fácil verificar que a dispersão é menor nos gráficos 3 e 4, indicando uma maior probabilidade de haver correlação entre as variáveis.

3 RESULTADOS

Com base nos dados coletados de dezesseis empreendimentos em estruturas e painéis pré-fabricados, foram ajustados modelos de regressão linear para estimar tanto o número total de elementos pré-fabricados quanto o prazo de montagem das edificações. Os resultados indicaram forte capacidade preditiva dos modelos, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 89% em todos os casos.

3.1 MODELOS PARA ESTIMAR O NÚMERO TOTAL DE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS

Modelos de regressão simples foram ajustados considerando a **área construída da edificação** como variável preditora. O mesmo coeficiente angular foi observado para os diferentes tipos ou uso de edificações, sugerindo um comportamento linear semelhante entre os segmentos analisados para edifícios comerciais, industriais, destinados a galpões logísticos e supermercados.

Esses modelos apresentaram R^2 de até 89%, indicando que a área construída explica grande parte da variabilidade na quantidade de elementos a serem montados.

3.2 MODELOS PARA ESTIMAR O PRAZO DE MONTAGEM

Três modelos foram ajustados para estimar o prazo de montagem (em meses), com diferentes níveis de complexidade:

- No **Modelo 1 – Simples** foi analisada a correlação entre duas variáveis apenas, o prazo de montagem e o número total de elementos pré-fabricados, identificando-se o coeficiente de determinação R^2 = 94%, com erro padrão S = 0,61;

- No **Modelo 2 – Múltiplo-3** foi analisada a correlação entre três variáveis, quais sejam, o prazo de montagem, a área Construída e o número total de elementos pré-fabricados, identificando-se o coeficiente de determinação R^2 = 94%, com erro padrão S = 0,60;
- No **Modelo 3 – Múltiplo-4** foi analisada a correlação entre quatro variáveis, quais sejam, o prazo, a área construída, a modulação de vãos entre pilares, o número total de elementos pré-fabricados e o volume total de concreto, identificando-se o coeficiente de determinação R^2 = 95%, com erro padrão S = 0,63)

Constatou-se, então, que todos os modelos apresentaram excelente desempenho preditivo, sendo o **Modelo 1** uma opção simples e eficaz quando apenas o número de elementos é conhecido. O **Modelo 3**, mais completo, permite refinar a estimativa considerando múltiplas variáveis relacionadas à geometria e ao volume de concreto dos pré-fabricados.

Os resultados demonstram que, mesmo com um número reduzido de variáveis, é possível obter previsões confiáveis do prazo de montagem, oferecendo uma ferramenta de grande utilidade para o planejamento de obras com pré-fabricados. Todavia, os autores estão buscando mais dados, para que as análises sejam mais refinadas e as correlações confirmadas, com mais precisão.

4 DISCUSSÕES

Os modelos de regressão ajustados apresentaram alto poder explicativo, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 94% para estimativas do prazo de montagem com base no número total de elementos pré-fabricados, na área construída, na modulação e no volume de concreto. Esses resultados indicam que é possível obter boas previsões com um conjunto reduzido de variáveis, o que é vantajoso do ponto de vista prático, especialmente para empresas que atuam em planejamento e execução de obras com pré-fabricados.

Observa-se que o número total de elementos pré-fabricados tem a correlação mais forte com o prazo de montagem (r = 0,967), sugerindo que essa variável pode ser considerada uma proxy eficaz para a complexidade da montagem. O volume total dos elementos também mostrou correlação significativa (r = 0,926), reforçando a importância da dimensão física dos componentes no tempo total de execução.

A inclusão da área construída e da modulação dos vãos entre pilares em modelos múltiplos contribuiu para explicar pequenas variações adicionais no prazo de montagem, ainda que com menor impacto. Modelos mais complexos podem ser úteis em casos específicos, mas modelos mais simples já apresentam desempenho satisfatório.

A abordagem data-driven mostrou-se promissora para apoiar decisões estratégicas no planejamento da montagem, podendo ser integrada a sistemas BIM ou ERPs da construção civil. Futuramente, modelos com aprendizado de máquina e maior volume de dados podem ampliar a precisão e aplicabilidade dessas estimativas.

5 CONTRIBUIÇÃO DA CIÊNCIA DE DADOS NA ENGENHARIA DE MONTAGEM COM PRÉ-FABRICADOS

A introdução da ciência de dados nos processos de montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto representa uma inovação relevante na construção civil. Tradicionalmente guiado pela experiência técnica e por cronogramas convencionais, o planejamento dessas montagens passa a contar com o uso de ciência de dados, com uma abordagem mais objetiva, preditiva e baseada em evidências extraídas de dados históricos.

A ciência de dados possibilita a identificação de padrões ocultos entre variáveis de projeto, logística e montagem, oferecendo subsídios para decisões mais assertivas. Por meio da modelagem estatística é possível estimar prazos de montagem com boa acurácia, antecipando gargalos e otimizando o uso de recursos como guindastes, carretas, equipes e tempo.

Além disso, os modelos preditivos podem ser integrados a tecnologias digitais já em uso no setor, como o *Building Information Modeling* (BIM) e sistemas de gestão de obras (ERP), promovendo um planejamento mais ágil e conectado com a realidade do canteiro. Também abrem caminho para soluções mais avançadas, como simulações de cenários e gêmeos digitais de construção.

No Brasil, a aplicação da ciência de dados à engenharia de montagem ainda é incipiente, mas mostra-se promissora ao demonstrar ganhos em eficiência, previsibilidade e racionalização de recursos. Assim, este trabalho oferece uma contribuição relevante ao propor um protótipo data-driven com potencial para apoiar empresas do setor na tomada de decisão desde as fases iniciais do empreendimento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O problema da pesquisa foi definido como a análise da possibilidade de identificação das variáveis de montagem que influenciam de forma significativa o prazo de montagem da estrutura e dos painéis pré-fabricados de concreto na obra. Constata-se que foram identificadas tais variáveis e a possibilidade das suas correlações com os prazos. O desenvolvimento desta pesquisa apresenta uma contribuição técnica para a definição de estimativas iniciais, para o prazo de montagem de edificações pré-fabricadas de concreto, em diferentes estágios do projeto.

Ressalva-se que os modelos, considerando o estudo apresentado neste artigo, apesar de muito promissores, podem ser aperfeiçoados com a inserção de novos dados de outros casos. Os autores, com a colaboração das empresas, pretendem dar continuidade aos estudos, de forma a aperfeiçoar os modelos, sempre com a preocupação em proteger os dados. Futuramente, modelos com aprendizado de máquina e maior volume de dados podem ampliar a precisão e aplicabilidade dessas estimativas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). **Manual de Montagem das Estruturas Pré-moldadas de Concreto**. São Paulo, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062:2017**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

ARASHPOUR M., KAMAT V., BAI Y., WAKEFIELD R., ABBASI B. **Optimization modeling of multi-skilled resources in prefabrication: theorizing cost analysis of process integration in off-site construction.** Automation Construction 95:1–9, 2018. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.027.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W.A. **Product Design for Manufacture and Assembly**, 3rd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2011.

BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P.A., **Estatística Básica**, Saraiva, São Paulo, 9ed, 2017.

DONIAK, I. L. O. **Manual de montagem de pré-moldados**. ABCIC/NETPre. [S.l.]: ABCIC, 2008.

EL DEBS, M. K. **Concreto Pré-moldado: Fundamentos e Aplicações**. Escola Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. 456 p.

FERREIRA, M. A. **Diretrizes de projeto: sistemas pré-moldados de concreto**. Notas de aula. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 2013, 162 p.

SILVA, F.B.; CARDOSO, F. F. **Conceitos e diretrizes para a organização da logística em empresas construtoras de edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica USP, 2000.

WASSERSTEIN, R. L.; LAZAR, N. A. ASA's Statement on p-Values: Context, Process, and Purpose». *The American Statistician*. **7**129–133. ISSN 0003-1305, 2016. doi:10.1080/00031305.2016.1154108.

XU, G. **The construction site management of concrete prefabricated buildings by ISM-ANP network structure model and BIM under big data text mining.** Internacional Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, vol. 6, nº 4, 2020. DOI:10.9781/ijimai.2020.11.013.

ZHAI, Y.; SUN, Y.; Li, Y.; TANG, S. **Design for Assembly (DFA) Evaluation Method for Prefabricated Buildings.** Buildings 2023, 13, 2692. https://doi.org/10.3390/buildings13112692.