https://doi.org/10.11606/gtp.v17i2.166055

ARTIGO

DIRETRIZES PARA A TOMADA DE DECISÃO PELO PROPRIETÁRIO EM CONTRATOS DE CONSTRUÇÃO MODULAR

OWNER´S DECISION MAKING GUIDELINES FOR MODULAR CONSTRUCTION CONTRACTS

Bruno Soares de Carvalho[1], Sergio Scheer [2]

[1]Universidade Federal do Paraná. PPGEC Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil

[2] Universidade Federal do Paraná. PPGEC Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil

RESUMO:

Esta pesquisa apresenta o desenvolvimento de um conjunto de diretrizes de apoio a tomada de decisão para contratos de construção modular pela lente do proprietário. Após levantamento de referencial conceitual sobre o tema, como uma etapa da estratégia de pesquisa foi realizada a análise de 20 documentos *Request for Proposal* (RFP) de obras de construção modular. Essa documentação serviu para extração dos métodos de entrega de projetos mais usuais, dos critérios de seleção da empresa fornecedora e do perfil de obra contratada. Posteriormente, com um estudo de casos múltiplos, cuja unidade de análise é o sistema construtivo, constituindo uma pesquisa exploratória, foram realizadas visitas técnicas a empresas fornecedoras com um protocolo de coleta de dados nos EUA, Canadá, Espanha e Brasil. A partir da observação direta da área de operação em 13 empresas que atuam no segmento de obras industrializadas foi possível a identificação do fluxo de valor destas empresas. Estas visitas serviram para compreensão de como acontece o fluxo de valor em obras com sistemas construtivos industrializados, além da obtenção de informações que suportam a etapa seguinte de aplicação da técnica Delphi com 11 especialistas brasileiros para estabelecimento de um consenso sobre características da construção modular nas fases de projeto, fabricação, transporte e montagem na obra. Este arcabouço de informações, obtido a partir do referencial conceitual, RFPs, visitas técnicas e técnica Delphi, é um rico conjunto de evidências que propiciou a elaboração de diretrizes para o apoio à tomada de decisão pelos proprietários de obras em construção modular.

PALAVRAS-CHAVE: Construção Modular; Requisição de Propostas; Fluxo de valor

ABSTRACT:

This research presents the development of a set of guidelines to support decision-making in modular construction contracts through the lenses of the owner. After a review of the conceptual framework around the theme, 20 Request for Proposals (RFP) of modular construction projects were analyzed as part of the research strategy. There documents are the equivalent of a bidding notice and served as a benchmark to identify the most common documents required, for the criteria selection involving the modular contractor and the type of project procured. Afterwards, in a multi-case approach, where the constructive method is the addressed metric in an explorative study, technical visits to modular contractors using a standardized data collection protocol in USA, Canada, Spain, and Brazil. Through the direct observation in the manufacturing and operation of 13 modular construction companies it was possible to identify the value flow of these companies. These visits helped understand how the value flow occurs in projects with industrialized constructive methods besides obtaining information to support the following research step which is the application of Delphi technique with 11 Brazilian specialists to reach a consensus about the characteristics of modular construction in the design, manufacturing, transport and assembly of modular construction projects. This information, obtained from the literature review, RFP's, technical visits, and Delphi technique, is a rich set of evidence that allowed the development of guidelines to support the decision making by the owners.

KEYWORDS: Modular Construction; Request for Proposal; Value Flow

Fonte de Financiamento:
Não houve.

Conflito de Interesse:
Declara não haver.

Ética em Pesquisa:
Esta pesquisa está aprovada no Comitê de Ética em Pesquisa (CEP – Plataforma Brasil) sob o CAAE 53037221.8.0000.0102.

Submetido em:
data de submissão:
27/01/2020
Aceito em: 13/05/2022

How to cite this article:

CARVALHO, B.; SCHEER, S. Diretrizes para a tomada de decisão pelo proprietário em contratos de construção modular. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v17, n2, 2022. https://doi.org/10.11606/gtp.v17i2.166055

INTRODUÇÃO

A construção civil é historicamente moldada por soluções artesanais com baixa produtividade (ZHAI, 2010) e obras com sistemas industrializados podem alterar esta realidade (JIN, GAO, *et al.*, 2018) por permitir que um grupo de atividades seja realizado em ambiente controlado reduzindo incertezas e riscos com aumento da qualidade do serviço, quando comparado com atividades realizadas no canteiro de obra (AZHAR, LUKKAD e AHMAD, 2013).

Sistemas industrializados como a construção modular tem como vantagem competitiva a redução do prazo de execução quando comparado a sistemas tradicionais de construção edificados diretamente no canteiro de obra. Isso ocorre, pois múltiplas atividades podem ser realizadas em paralelo entre a fábrica e o canteiro de obra, além de haver redução dos problemas com intempéries, antecipando a entrega final (SMITH, 2015). Ao industrializar a construção civil se tem a intenção de elevar a produtividade para condições similares às da indústria de manufatura (CARVALHO, 2020).

Foi observado na literatura que existe uma lacuna do conhecimento em relação a informações que possam apoiar o contratante, que é o proprietário da obra, na decisão de utilizar a construção modular em substituição aos sistemas tradicionais de construção.

O objetivo deste trabalho é estabelecer diretrizes para a contratação de obras em construção modular. Com essas diretrizes o proprietário terá maior conhecimento do fluxo de valor deste tipo de contrato. Além disso, tais informações podem suportar decisões estratégicas do proprietário e, se essas diretrizes forem utilizadas como referência para aumentar a industrialização da construção, podem se tornar uma contribuição relevante para a indústria da construção civil brasileira.

REFERENCIAL TEÓRICO

A construção modular é uma maneira de edificar diferente do sistema tradicional e pode ser definida como um sistema construtivo industrializado da construção civil que possui um chassi estrutural em concreto, aço ou madeira, com três dimensões, compatível para ser transportado entre a fábrica e o canteiro de obra. O módulo produzido na fábrica contém estrutura, fechamentos, revestimentos e instalações. O conjunto destes módulos formam uma edificação completa (CARVALHO e SCHEER, 2019). Módulos pré-fabricados de edifícios podem ser divididos em duas categorias principais que devem envolver o processo de projeto, fabricação offsite e execução no local, sendo: sistemas bidimensionais (2D) ou construções painelizadas e sistemas tridimensionais (3D) ou construções modulares (RAMAJI, MEMARI e MESSNER, 2017).

A construção modular possui características que atendem as demandas atuais da indústria da construção civil, conforme Quadro 1 em relação a diferentes fatores motivadores (DUNCHEVA e HAIRSTANS, 2019).

Motivador	Fator / Demanda	Reação dos sistemas construtivos industrializados
Sustentabilidade	Impacto social, ambiental e econômico da obra	Redução do tempo do canteiro (SMITH, 2015)
	Economia circular	Ciclo de vida da edificação é compreendido e estruturado em suas diferentes fases. (PASSARELLI, 2019)
	Projetos únicos e customizados	Componentes baseados em Customização em massa (HASHEMI e HADJRI, 2013)
Regulatório	Protocolos internacionais	Aumento das oportunidades de exportações de componentes de obras (LU e KORMAN, 2010)
	Padrões industriais e de qualidade	Produção em ambiente controlado (LAWSON, OGDEN e BERGIN, 2012)
Digitalização	Internet das coisas	Projeto integrado multidisciplinar (KAPLINSKI, 2018)
	Quarta revolução industrial	Automação das linhas de produção (CORREA, 2018)
	BIM	Projeto com componentes parametrizados (WANG, AHN, *et al.*, 2019)
Produtividade	Princípios enxutos (*lean*) e automação	Otimização de recursos (INNELLA, ARASHPOUR e BAI, 2019)
	Impacto econômico	Aumento da capacidade de entrega de edificações (MOSSMAN, 2019)
Capital humano	Colaboração e liderança	Mão de obra polivalente com retenção e atração de talentos (NASIRIAN, ARASHPOUR, *et al.*, 2019)
	Qualidade no trabalho	Redução de equipes expostas a intempéries (MUSA, MOHAMMAD, *et al.*, 2014)
Cultural	Modelo de negócio	Integração da cadeia de suprimentos (FORSYTHE, FINI e YAZDI, 2019)
	Segurança e saúde ocupacional	Melhoria da ergonomia do trabalho (MCKAY, GIBB, *et al.*, 2005)
	Métodos de entrega de projeto	Contratos colaborativos com redução das adversidades (CARVALHO e SCHEER, 2019)

Quadro 1. Motivadores e reações dos sistemas construtivos industrializados quanto as demandas da industria AEC, baseado em (DUNCHEVA e HAIRSTANS, 2019)

Fonte: Autor

Para se executar uma obra com construção modular devem ser cumpridas algumas etapas essenciais neste processo (DORAN e GIANNAKIS, 2011): Inicialmente o desenvolvimento de projetos específicos para os módulos (LU e KORMAN, 2010); na sequência é realizada a produção industrializada destes módulos; após a produção, os módulos são transportados até o canteiro (LI, AL-HUSSEIN, *et al.*, 2013) e conectados entre si (LACEY, CHEN, *et al.*, 2019); a etapa final é de pequenos acabamento e ajustes dos módulos na obra. Estas etapas possuem um único fluxo de valor conectado através dos diferentes ambientes baseado na aplicação dos princípios Lean (enxutos), sendo a etapa de projeto com lean office (escritório enxuto), etapa de fabricação com lean production (produção enxuta), etapa de transporte com lean thinking (pensamento enxuto) e a etapa de obra com lean construction (construção enxuta) (CARVALHO e SCHEER, 2019) (INNELLA, ARASHPOUR e BAI, 2019).

É crescente o uso da construção modular como solução técnica nos editais de licitação e o método de entrega de projeto mais adotado é o Design-Build (projeto e construção) que atribui responsabilidade de projetar e construir para um único contratado sendo que o critério de seleção para escolha deste executor preferencialmente é o Best Value (melhor valor) que remete ao melhor valor de uma seleção técnica e financeira conjugada com pesos variados para cada um dos aspectos (SALAMA, MOSELHI e AL-HUSSEIN, 2018).

O documento de solicitação de propostas denominado de Request for Proposal (RFP) é o equivalente ao edital de licitação para tomada de preço. É um documento com orientações e critérios estabelecidos pelo proprietário para que o proponente possa elaborar sua proposta considerando as regras estabelecidas na licitação, tipo de contrato, objetivos, escopo e procedimento de elaboração e submissão de propostas (ANAYA e POLLITT, 2015).

Esta pesquisa identificou RFPs de projetos que utilizam a construção modular nos EUA, Canada, e Brasil. Essas RFPs serão utilizadas como parte das informações para estabelecer as diretrizes necessárias para apoio a tomada de decisão na contratação de obras em construção modular. O Quadro 2 apresenta 20 documentos de RFPs analisados e suas respectivas características quanto ao tipo de obra, método de entrega de projeto e os critérios de seleção de edificações contratadas por órgãos públicos. No âmbito deste levantamento, somente foi encontrada uma RFP no Brasil, no estado do Goiás como pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2. *Request for Proposal* de edificações em construção modular

Fonte: Autor

Local	Ano	Tipo de obra	Método de entrega de Projeto	Critério de seleção	Código da RFP
Florida	2018	Instituição de ensino	Design-Build	Melhor Valor	#18-10
Ontario	2018	Instituição de ensino	Design-Build	Melhor Valor	18-1008
Colorado	2018	Instituição de ensino	Design-Build	Melhor Valor	18-JY-0122
Connecticut	2018	Instituição de ensino	Design-Build	Menor Preço	#19-005
Connecticut	2018	Instituição de ensino	Design-Build	Menor Preço	#1819-001
Massachusetts	2017	Dormitórios	Design-Build	Melhor Valor	02554
British Columbia	2018	Instituição de ensino	Design-Build	Melhor Valor	NWRFP-17-18
Alberta	2017	Instituição de ensino	Design-Build	Melhor Valor	18614

Ontario	2017	Instituição de ensino	Design-Build	Melhor Valor	#2017-299
New York	2016	Instituição de ensino	Design-Build	Menor Preço	sem código
Kansas	2016	Instituição de ensino	Design-Bid-Build	Menor Preço	#001113
Saskatchewan	2015	Instituição de ensino	Design Build Finance Maintenance and Renewal	Melhor Valor	#1
Alberta	2015	Instituição de ensino	Design-Build	Menor Preço	15480
Massachusetts	2015	Instituição de ensino	Design-Bid-Build	Melhor Valor	#15-18
Florida	2012	Instituição de ensino	Design-Build	Menor Preço	#200
Texas	2012	Escritório do governo	Design-Build	Melhor Valor	Portable/Modular Buildings
British Columbia	2010	Instituição de ensino	Design-Build	Melhor Valor	#3306
Alberta	2009	Instituição de ensino	Design Build Finance Maintenance and Renewal	Menor Preço	RFP Vol 1 – ITP
California	2007	Prédio do tribunal	Leasing 5 anos de contrato de locação com opção de compra	Melhor Valor	OCCM- FY-2006-06
Goáis	2016	Instituição de ensino	Design Build	Menor Preço	SEDUCENº 001/2016

Estes documentos podem ser acessados pelo link:

https://drive.google.com/drive/folders/1BLULP0VCUAq95Ye7HNCLi5UlZ63ytocg?usp=sharing

Estas informações de entrada colaboram para elaboração da pergunta de pesquisa: Qual é a estrutura conceitual que necessita ser criada e que servirá como diretriz para a contratação de obras em construção modular pelo proprietário da obra?

MÉTODO

A estratégia de pesquisa adotada se iniciou com a busca e análise da literatura para compreensão do estado da arte da construção modular. Posteriormente foram analisados 20 documentos RFPs que serviram para extração dos métodos de entrega de projetos mais usuais, dos critérios de seleção da empresa fornecedora e do perfil de obra contratada. Na etapa seguinte desta pesquisa foi realizado um estudo de casos múltiplos em empresas localizadas nos EUA, Canada, Espanha e Brasil para se identificar qual era o fluxo de valor de obras com sistemas construtivos industrializados. A técnica utilizada, neste último caso, incluiu visita,

observação direta com registro fotográfico e entrevista pré-estruturada com responsável pela empresa que explicou ao pesquisador o fluxo de valor na empresa analisada, conforme Quadro 3.

Quadro 3. Protocolo de coleta de dados no estudo de casos

Fonte: Autor

Protocolo	Ação
Questão do estudo	Fluxo de valor das empresas selecionadas
Seleção da amostra	Construtoras, Fábricas e Projetistas
Desenho do estudo	Visita de campo como observador passivo
Estratégia de condução do estudo	1) Solicita-se uma visita à área de operação da empresa. 2) O pesquisador se posiciona como observador da operação da empresa para compreender o fluxo de valor. 3) Realiza-se o relato da operação em termos de identificação dos princípios Lean, busca-se compreender qual o MEP adotado e como é a sequência produtiva.
Análise dos dados	Descrição dos estudos de casos múltiplos com apresentação dos resultados levantados
Considerações éticas	O pesquisador apresenta de maneira transparente sua compreensão dos fatos, sem interferir no ambiente produtivo

O Quadro 4 apresenta as obras e fábricas visitadas e suas respectivas localizações, o período da visita, os sistemas construtivos adotados e sua área de atuação em cada visita de campo realizada.

Quadro 4. Estudo de casos múltiplos para entendimento do fluxo de valor de sistemas industrializados na construção civil

Fonte: Autor

Empresa	Área de atuação	Localização	Sistema construtivo adotado	Data da visita técnica
Empresa I	Fábrica + Construtora	Brasil - Araucária (PR)	Painéis de Woodframe	Jul/2019
Empresa II	Fábrica + Construtora	Brasil - Ponta Grossa (PR)	Painéis de Light steel frame	Jul/2019
Empresa III	Fábrica + Construtora	Brasil - Tubarão (SC)	Construção Modular	Nov/2018
Empresa IV	Fábrica	Espanha - Salamanca	Construção Modular	Abr/2018
Empresa V	Fábrica + Construtora	Espanha - Sevilha	Construção Modular	Abr/2018
Empresa VI	Fábrica	Canadá - Edmonton	Painéis de Woodframe	Mai/2019
Empresa VII	Construtora	Canadá - Edmonton	Painéis de Woodframe	Mai/2019

Empresa VIII	Fábrica + Construtora	Canadá - Montreal	Estrutura de aço pesado	Abr/2019
Empresa IX	Fábrica	Canadá - Edmonton	Cross Laminated Timber	Mai/2019
Empresa X	Fábrica + Construtora	Canadá - Calgary	Paredes e divisórias internas	Mai/2019
Empresa XI	Fábrica	Canadá - Edmonton	Mobiliário	Mai/2019
Empresa XII	Construtora	Canadá - Edmonton	Painéis de Light steel frame	Mai/2019
Empresa XIII	Fábrica + Construtora	USA - Ocala	Construção Modular	Nov/2019

Após o estudo de caso, e a partir das evidências com ele obtidas, a etapa seguinte consistiu na aplicação da técnica Delphi com 11 especialistas brasileiros (Gráfico 1). A literatura recomenda entre 10 e 18 especialistas para a aplicação desta técnica (OKOLI e PAWLOWSKI, 2004).

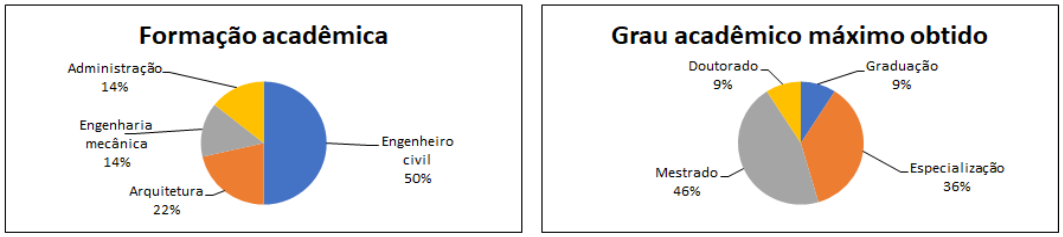


Gráfico 1. Qualificação dos especialistas participantes da Técnica Delphi

Fonte: Autor

A técnica Delphi é uma maneira amplamente utilizada e aceita para coletar dados de respondentes dentro de seu domínio de especialização. A técnica é projetada como um processo de comunicação em grupo que visa alcançar uma convergência de opiniões sobre uma questão específica do mundo real (HSU e SANDFORD, 2007).

A técnica Delphi é aderente a essa pesquisa por buscar o estabelecimento de consenso entre os especialistas (HABIBI, SARAFRAZI e IZADYAR, 2014) o que constitui a base para a elaboração das diretrizes para apoio a tomada de decisão para contratação de obras em construção modular.

Foram realizadas três rodadas de envio de questionários aos especialistas, atendendo a três condições básicas: o anonimato dos respondentes, a representação estatística dos resultados e a apresentação de feedback das respostas do grupo para reavaliação das respostas dos especialistas (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

Os questionários podem ser acessados pelos links:

Rodada 1: https://forms.gle/gqMZMuwALK6sB78r8

Rodada 2: https://forms.gle/mxQHYC2WehYTvGMx8

Rodada 3: https://forms.gle/4DuJVwMsLMyb9k7q7

A primeira rodada Delphi questionou quais eram as relações entre atividades do processo de projeto, fabricação, transporte e montagem com a construção modular sendo que o especialista

respondente deveria classificar essas respostas numa escala de autorrelato tipo Likert sobre a opção mais adequada. Essa escala é utilizada como forma de mensurar o desempenho em opções pré-definidas pelo pesquisador (AGUIAR, CORREIA e CAMPOS, 2011). Ainda na primeira rodada o questionário possuía uma pergunta de múltipla escolha para definição do perfil mais adequado de obra para uso da construção modular, pois nem toda obra é suscetível à aplicação desse sistema construtivo, conforme indicado na revisão da literatura (SMITH, 2015).

A segunda rodada foi elaborada como base nas respostas da primeira rodada. Neste segundo questionário alterou-se a maneira de questionar o especialista. Foram feitas afirmações pelo pesquisador e o especialista precisava escolher se concordava com a afirmação ou discordava dela. Dessa forma pôde-se mensurar o contexto de atividades de projeto, fabricação transporte e montagem da execução da obra que estavam relacionadas com a construção modular, a partir da opinião de diferentes especialistas.

A terceira e última rodada foi para confirmação dos resultados com a prévia apresentação das respostas do grupo para cada um dos respondentes e com o questionamento: se haveria interesse em alterar alguma resposta. Nesta etapa houve a estabilidade das respostas mantendo-se um resultado muito similar ao resultado da segunda rodada. Portanto, foram encerradas as rodadas de questionamentos da técnica Delphi e foi considerado o consenso dos especialistas em questões que tiveram mais de 75% de concordância entre os respondentes (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

Com os resultados das informações levantadas na revisão da literatura, nos documentos RFP, nas visitas técnicas e nos resultados da técnica Delphi foi possível elaborar uma estrutura conceitual capaz de suportar a definição de diretrizes para proprietários que pretendam contratar obras de construção modular. O fluxograma da figura 1 representa o método desta pesquisa

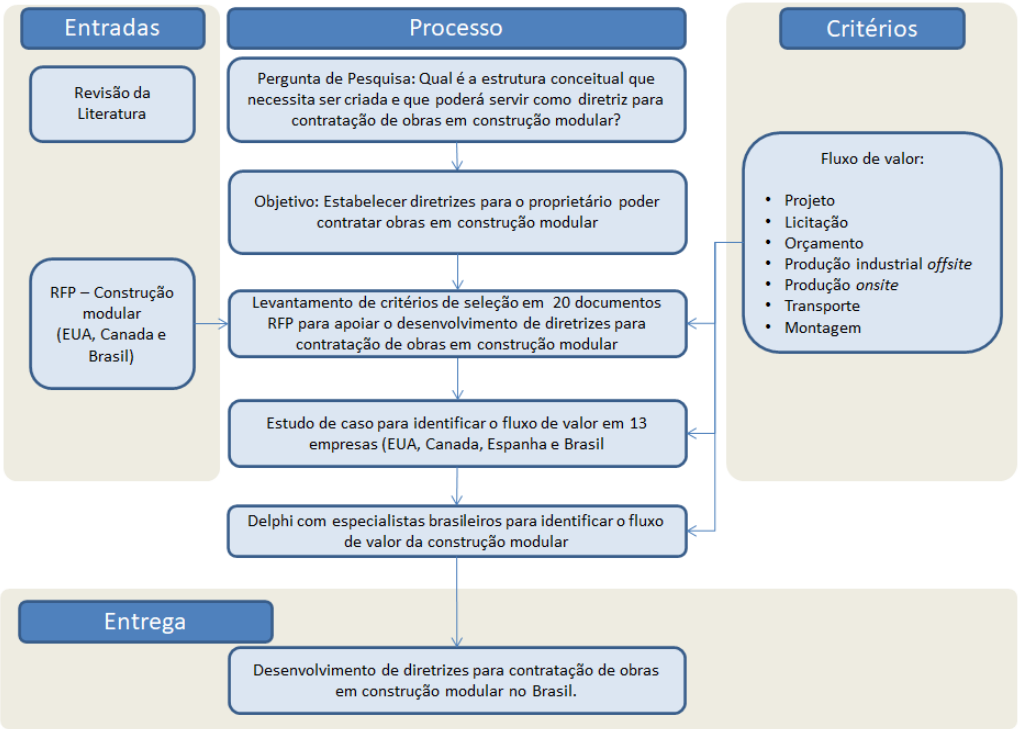


Figura 1. Método de pesquisa aplicado

Fonte: Autor

DIRETRIZES PARA CONTRATAÇÃO DE OBRAS EM CONSTRUÇÃO MODULAR

O desenvolvimento das diretrizes apresentadas é resultado da compreensão do fluxo de valor de obras em construção modular pelo viés do proprietário da obra. Para estabelecer as diretrizes foi necessário compreender quais as características das obras, o que o proprietário busca nessa contratação e quais são os fatores relevantes em termos de gerenciamento. Este arcabouço de informações, quando organizado e estruturado pode ser compreendido como diretrizes que irão apoiar proprietários interessados em contratar obras de construção modular.

Essas diretrizes não possuem a pretensão de ser a única fonte de informação para interessados em atuar com obras de construção modular, mas servirão como referência para a compreensão das etapas a serem cumpridas neste sistema construtivo e do seu respectivo fluxo de valor.

FLUXO DE VALOR PARA OBRAS EM CONSTRUÇÃO MODULAR

Para compreensão do fluxo de valor de obras em construção modular a Figura 2 apresenta a sequência das principais atividades com as características das empresas que atuam neste segmento.

A elaboração do fluxo de valor foi baseada no estudo de casos múltiplos, na análise da documentação RFP gerada por proprietários contratantes de obras de construção modular e nos resultados da técnica Delphi. Esta representação conceitual servirá de apoio a tomada de decisão pelo proprietário da obra quando este estiver interessado em contratar obras de construção modular, servindo como um roteiro para o projeto desde a etapa de preparação da contratação até a entrega da obra. A figura 2 representa o fluxo de valor de obras realizadas em construção modular.

O fluxo de valor inicia pela demanda da obra, que preferencialmente deve estar relacionada entre uma das opções indicadas pela técnica Delphi (ver adiante o Gráfico 6). Posteriormente, são convidadas empresas com experiência em execução de obras em construção modular. Para essas empresas deverá ser entregue um projeto básico e um edital que conterá, minimamente, a definição do método de entrega de projeto, sendo o mais comum o Design-Build que vincula a responsabilidade do projeto ao construtor, conforme o Quadro 2. É importante esclarecer que não existe o melhor método de entrega de projeto, pois essa escolha sobre qual adotar depende de fatores que se vinculam, principalmente, ao gerenciamento do risco no projeto (AL NAHYAN, HAWAS, *et al.*, 2018). Esta pesquisa apenas destaca o uso frequente do Design-Build como método de entrega de projeto preferencialmente utilizado para construção modular.

O edital também deverá conter a informação sobre a definição dos critérios de seleção das empresas, sendo recomendado o uso do Best Value ou "Melhor Valor", que representa um critério com melhor custo benefício ao proprietário, não necessariamente adotando a condição de menor preço, e que envolve conjuntamente uma seleção técnica e comercial baseada nos requisitos do edital e do projeto básico, conforme indicado no Quadro 2. Além disso esse edital deve apresentar a definição das expectativas pelos proprietários e usuários da edificação, o que melhora a percepção de valor na elaboração do projeto executivo e na aferição do preço comercial.

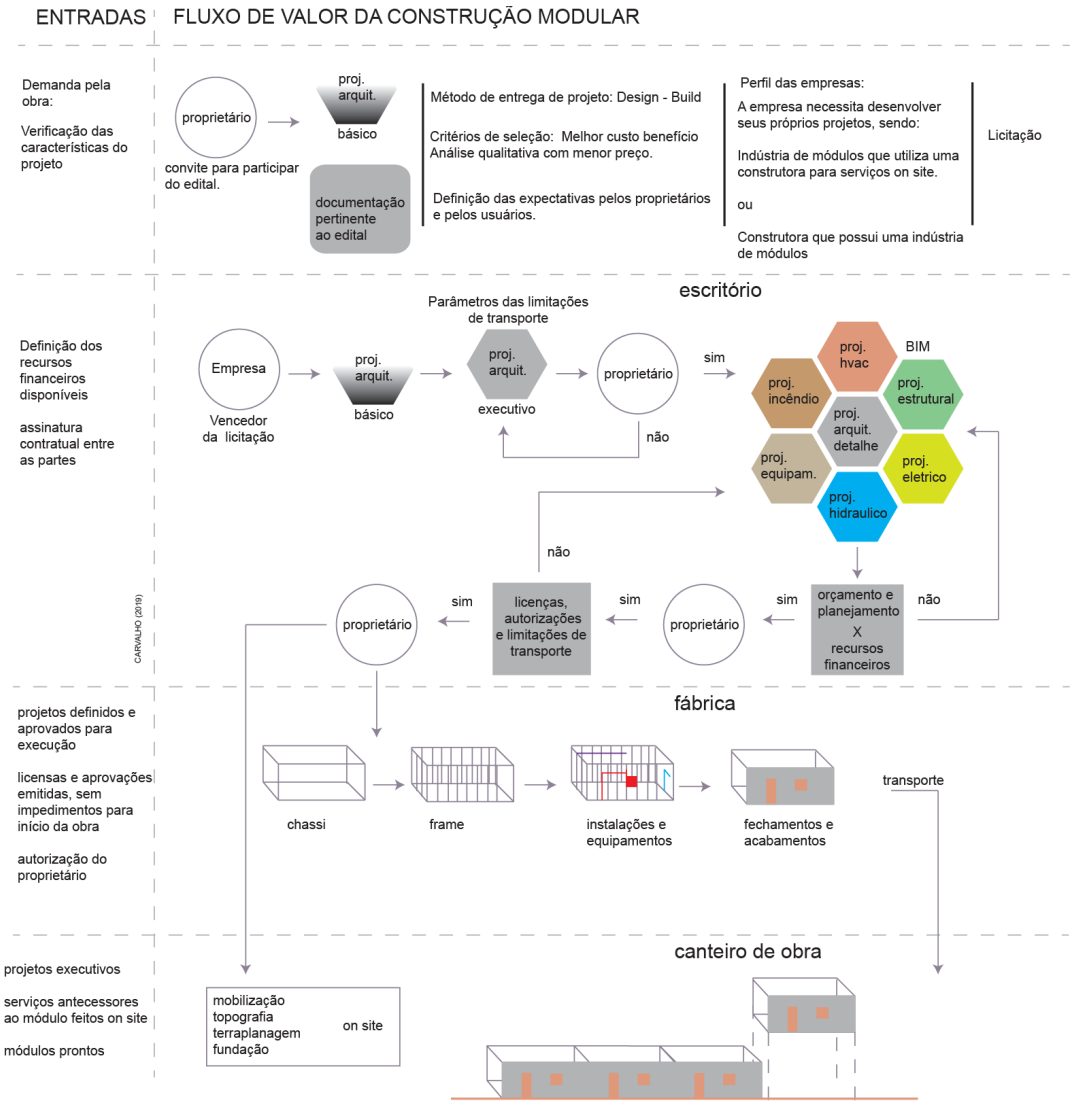


Figura 2. Fluxo de Valor de obras realizadas em construção modular

Fonte: Autor

Existem principalmente dois perfis diferentes de fornecedores aptos a executar obras em construção modular. O primeiro é o de uma indústria de módulos que servirá como fornecedora principal da obra e que precisará se associar por meio de um consórcio com uma construtora para realizar as atividades no canteiro. O outro perfil trata-se das construtoras que possuem uma fábrica de módulos e englobam todo o serviço em seu pacote de obra. Ambos os perfis citados foram extraídos do estudo de casos analisados e são coerentes com as práticas de construção modular conforme indicado no Quadro 3.

Na etapa de desenvolvimento dos projetos recomenda-se seguir o fluxo indicado na Figura 2 com atenção sobre as limitações de transportes que podem ser parâmetros de entrada para a elaboração dos projetos, considerando principalmente as características citadas no Gráfico 2. Com a elaboração de um projeto executivo, que passará pela aprovação do proprietário, na sequência iniciam-se os projetos complementares, com rodadas de compatibilizações para neutralização de problemas de conflitos entre disciplinas, sendo a empresa vencedora a responsável por realizar toda essa interface entre as diferentes partes envolvidas. A próxima etapa refere-se à orçamentação final da obra e ao planejamento de longo e médio prazo. Nesta etapa o proprietário é novamente envolvido para aprovação e, caso sejam necessários ajustes

de preço e planejamento, os projetos serão revisados. A etapa seguinte refere-se às aprovações e licenças relacionadas a órgãos públicos para obtenção da licença de execução da obra e transporte dos módulos.

A fabricação dos módulos deve atender o planejamento estabelecido, para que seja respeitada a sequência de envio dos módulos para a obra. Foi possível identificar que cada empresa visitada no estudo de casos (Quadro 2) possui uma maneira única de fabricar, seguindo, porém, uma sequência similar: iniciam pelo chassi estrutural, depois executam as instalações, em seguida os fechamentos de piso, parede, forro, revestimentos e, por último, as esquadrias. Com o módulo finalizado é feita a conferência de qualidade e a embalagem do módulo para o transporte.

Na etapa de transporte a empresa deve verificar se os acessos são compatíveis com o tamanho do veículo necessário para transporta-la, ao dimensionamento da carga e também ao peso. O transporte pode ser atendido por diferentes modais conforme indicado no Gráfico 4. O planejamento do transporte deve considerar o pátio de estoque da fábrica, o pátio de estoque da obra, o tempo do trajeto, obstáculos que devem ser antecipadamente neutralizados na rota para que o tempo de uso de gruas e caminhões seja eficiente conforme planejado. Desvios nesta etapa podem influenciar a entrega final da obra.

A última etapa se refere as atividades a serem executadas no canteiro de obra, como movimentação de terra, fundações, montagem e conexão dos módulos, além de calçadas e interligações com as concessionárias de serviços como água, energia, esgoto e telefonia. Algumas destas atividades executadas no canteiro podem ser realizadas em paralelo a fabricação dos módulos.

Além dessa sequência do fluxo de valor que representa desde o interesse inicial do proprietário em desenvolver esse projeto até a entrega da obra, essa pesquisa destaca as características nas etapas de projeto, fábrica, transporte e montagem, as quais foram elencadas pelos especialistas selecionados que participaram da técnica Delphi.

TÉCNICA DELPHI

O resultado da técnica Delphi para a fase de projeto realizada no ambiente do escritório é apresentado no Gráfico 2. A análise desse gráfico estabelece a necessidade de se obter projetos completos antes da fase de construção e fabricação. Como consequência ocorre uma redução das ordens de alterações de projetos em obras. As edificações em construção modular normalmente possuem uma tipologia característica com repetitividade de ambientes e isso melhora a velocidade do desenvolvimento dos projetos com redução de desperdício de recursos no escritório. Isso confere aos projetos de construção modular uma grande aderência ao BIM. Para que o processo de fabricação seja adequado não são recomendados ajustes fora das atividades especificadas em projeto. Assim, o módulo flui pela linha de produção e por isso a necessidade de esforços dos projetistas na etapa de compatibilização de projetos entre as disciplinas que envolvem a edificação.

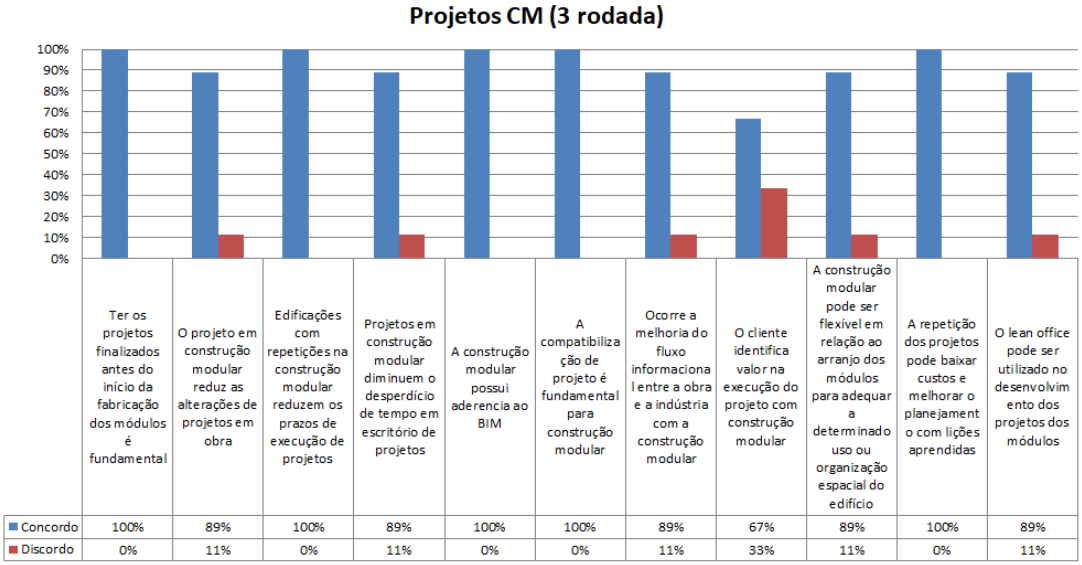
Edificações que possuem grande repetitividade de ambientes permitem na construção modular, uma redução de custos pelo ganho em escala. As técnicas de lean office possuem sinergia com o desenvolvimento desse perfil de projeto, conforme características levantadas pelos especialistas consultados.

Na etapa de fabricação, com os resultados da técnica Delphi apresentados no Gráfico 3, é possível constatar que edificações em construção modular possuem maior controle de qualidade em relação ao sistema construtivo tradicional. Isso porque são desenvolvidas em ambiente fabril, com redução do desperdício de insumos e melhoria do fluxo informacional

como também do fluxo de materiais, sendo possível a aplicação de técnicas de lean production nesta fabricação.

Gráfico 2. Resultado do Delphi na fase de projeto da construção modular

Fonte: Autor



Com menor dependência das condições climáticas existe maior precisão nos prazos de entrega. A construção modular pode reduzir as seguintes atividades: o tempo de ciclo, atividades que não agregam valor como desperdício de materiais e retrabalhos, etapas de uma obra e exposição ao risco em comparação com sistemas tradicionais. Porém, existe uma parte sensível no sistema de construção modular que são as conexões entre módulos no que se refere a aspectos estruturais, de revestimento e também as instalações mecânicas, elétricas e hidráulicas. Essas conexões são potenciais pontos de patologias e, por isso, exigem atenção do executor para que tais patologias sejam evitadas conforme indicações dos especialistas consultados.

Na etapa de transporte, os resultados da técnica Delphi são apresentados no gráfico 4 e indicam que a distância entre o local da fábrica e o local da obra pode interferir na viabilidade do projeto de construção modular. O transporte pode ocorrer por diferentes modais: entre eles o naval, ferroviário e o rodoviário. A gestão desta cadeia de suprimentos está relacionada as práticas de lean thinking. Baseado nisso a produtividade da fábrica pode ser relacionada ao seu layout que inclui o tamanho do pátio de estoque da fábrica e a sua respectiva conciliação com as entregas dos módulos na obra.

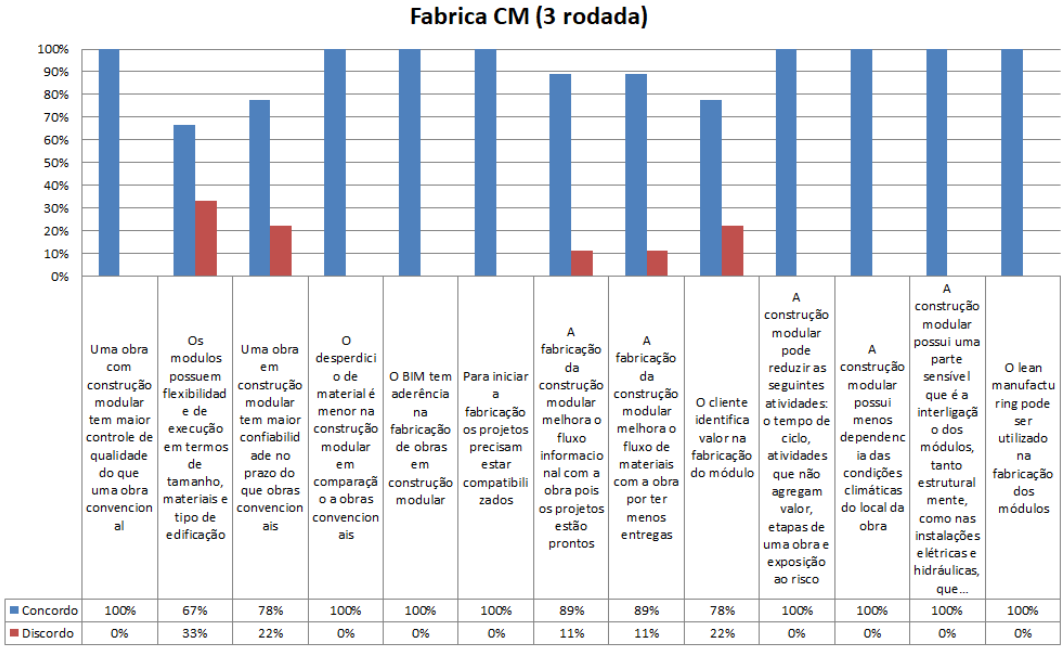


Gráfico 3. Resultado do Delphi na fase de fabricação da construção modular

Fonte: Autor

As limitações dimensionais e de peso dos módulos são fatores críticos que devem exigir um plano específico para o transporte e içamento de cada módulo desde o desenvolvimento do projeto, passando pela fabricação e finalizando na instalação na obra.

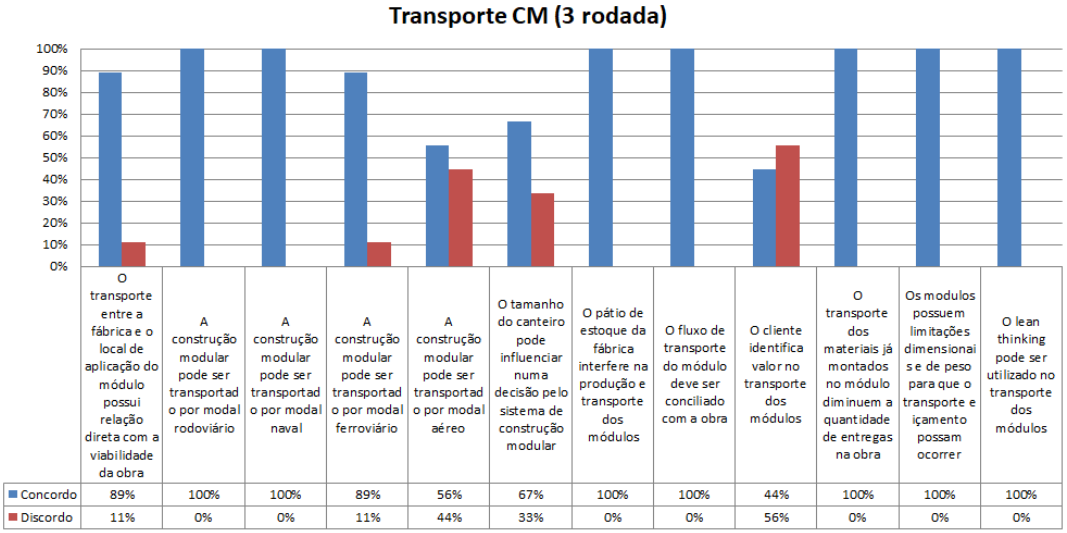


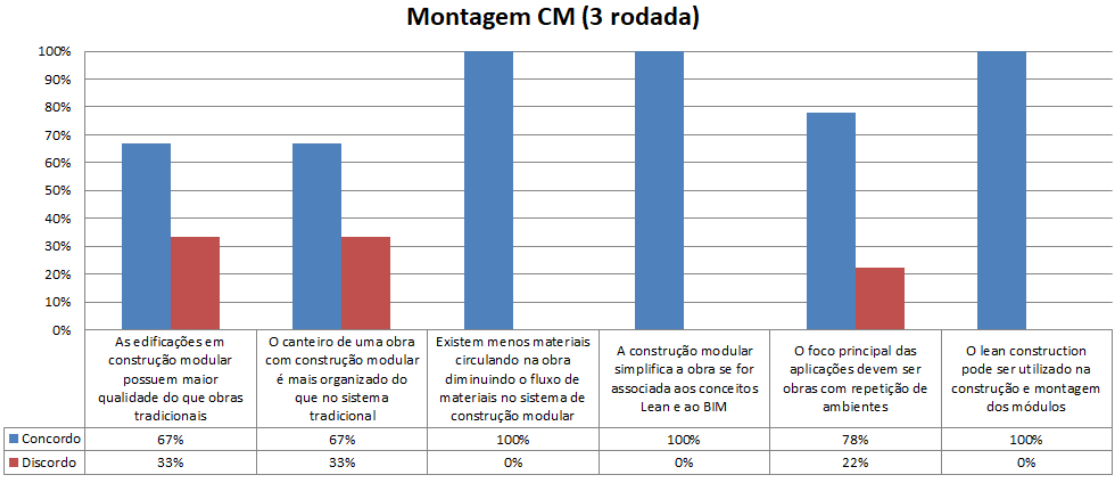
Gráfico 4. Resultado do Delphi na fase de transporte da construção modular

Fonte: Autor

Na etapa da montagem dos módulos na obra os resultados da técnica Delphi são apresentados no Gráfico 5 e indicam que existem menos materiais circulando na obra com um efeito de simplificação das atividades no canteiro. Isso ocorre porque parte considerável das atividades é desenvolvida na fábrica. Dessa forma, a construção modular possui grande sinergia com os princípios do lean construction, sendo recomendável a utilização dessas práticas em obras deste perfil.

Gráfico 5. Resultado do Delphi na fase de montagem da construção modular

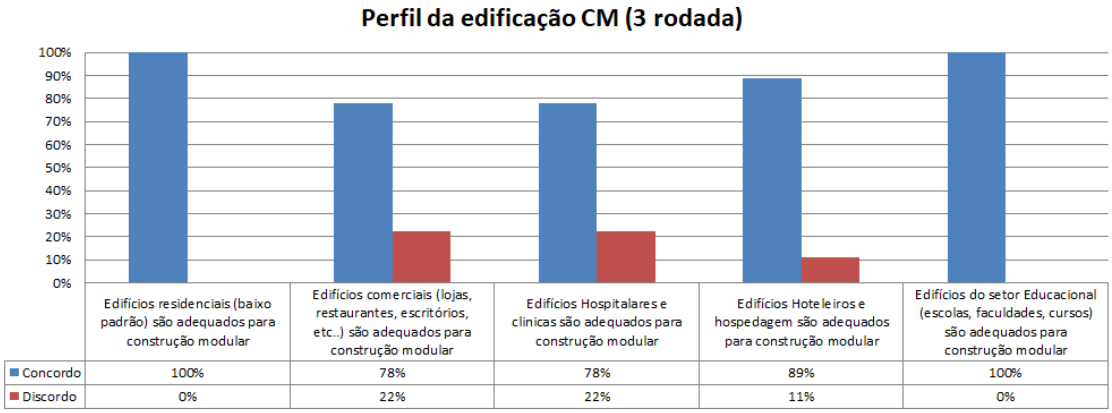
Fonte: Autor



O foco principal das aplicações da construção modular deve ser obras com repetição de ambientes. Dessa forma os especialistas consultados selecionaram os perfis de obras mais adequados para a construção modular, como pode ser verificado no Gráfico 6. As edificações residenciais de baixo padrão, edifícios comerciais, hospitalares, hoteleiros e do setor educacional foram citadas como os perfis mais apropriados para uso e aplicação da construção modular, convergindo para o mesmo perfil de obras analisadas no estudo de casos e também para os documentos RFP selecionados para essa pesquisa.

Gráfico 6. Resultado do Delphi na escolha do perfil da edificação para construção modular

Fonte: Autor



No Quadro 5 estão contempladas as diretrizes apresentadas e as respectivas ações por parte do proprietário e por parte do fornecedor da obra.

Etapa	Ação do contratante	Ação do contratado	Princípio Lean
Demanda pela obra	Identificar se a obra possui característica para CM;	-	-
	Definir um projeto básico com as expectativas do proprietário.		
Licitação	Definição de um edital de licitação específico para construção modular.	Planejamento (projeto, fabricação, transporte e montagem);	-
	Definir o Método de Entrega de Projeto: Recomenda-se o *Design Build* (Projeto + Construção).	Orçamento (projeto, fabricação, transporte e montagem);	
Definição do contratado	Avaliar aspectos técnicos e financeiros. Recomenda-se: *Best Value*.	-	-
Projeto	Definir o escopo de trabalho sem alterações posteriores pelo proprietário;	Ter os projetos finalizados antes da fabricação;	Lean Office
	Buscar repetição do tamanho dos ambientes para melhorar a modularização;	Projetos complementares;	
	Projetos que buscam prazos reduzidos e maior controle de qualidade;	Aderencia ao BIM para o desenvolvimento do projeto;	
	Aprovação dos projetos e liberação da fabricação;	Necessidade de compatibilização antes do início da fabricação;	
		Projetar visando a redução de custos pela repetitividade dos ambientes;	
		Licenças e autorizações;	
		Projeto baseado no modal de transporte	
		Negociação com concessionárias para retirada de possíveis interferências no caminho;	
Fabricação	Controle de qualidade do produto na fábrica;	Controle do consumo de materiais visando redução do desperdício de materiais em obra;	Lean Production
	Controle de produção que gera confiabilidade sobre o prazo de produção;	Aderência ao BIM na fase de execução, para sanar dúvidas e melhorar a compreensão do projeto;	
		Para o início da fabricação os projetos necessitam estar finalizados e compatibilizados;	
		Fluxo de informação e materiais definidos para que não ocorra interrupção na produção da fábrica;	
		Necessidade de prototipagem constante para aferir conexões entre os módulos e garantir estabilidade,	

Quadro 5. Diretrizes para contratos de obras em Construção Modular

Fonte: Autor

		qualidade nas instalações e estanqueidade.	
Transporte	A construção modular pode ser aplicado em canteiros de obras com pouco espaço para a produção, ou seja, o tamanho do canteiro influencia sobre a tomada de decisão;	A fábrica deve prover um pátio de estoque mínimo para armazenamento de módulos prontos, para otimizar o uso do guindaste no içamento com montagens sequenciais dos módulos;	Lean Thinking
		Seleção e contratação do modal selecionado em projeto;	
		O plano de transporte deve ser seguido para manutenção da viabilidade da obra;	
		O fluxo de transporte dos módulos deve ser conciliado com a obra;	
		A construção modular reduz significativamente a quantidade de materiais recebidos na obra, o canteiro deve estar adaptado para essa forma de construir;	
		Verificar para cada modal a ser utilizado as limitações de trajeto, tamanho e peso;	
		Possuir projeto de içamento do módulo;	
Construção e Montagem	Controle de qualidade da montagem na obra;	Como existem menos materiais circulando na obra, o almoxarifado pode ser reduzido;	Lean Construction
	Aprovação e recebimento da obra.	Devem ser consideradas as condições de recebimento dos módulos e içamento, com área suficiente para estas atividades;	
		Deve-se aplicar um projeto de içamento;	
		Conexões adequadas entre os módulos;	
		Execução de atividades on site não industrializadas.	

Essas diretrizes apresentadas revelam uma maneira diferente de edificar se comparado ao sistema tradicional de construção civil do mercado brasileiro que é essencialmente baseado em estrutura moldada in loco. A possibilidade de se realizar obras industrializadas permite um avanço setorial para a construção civil com vantagens competitivas para aqueles que adotarem esse sistema construtivo, tais como: maior qualidade, entrega de obras mais rapidamente, redução dos acidentes e custo menor que o de sistemas construtivos tradicionais (SMITH, 2015).

CONCLUSÃO

As diretrizes apresentadas neste estudo foram baseadas em quatro fontes de informações: revisão da literatura, estudo de casos múltiplos, análise de documentos RFP e a aplicação da técnica Delphi. Nessa perspectiva, os resultados empíricos obtidos quando confrontados com a literatura existente são coerentes e servem como referência aos proprietários interessados em contratar obras com construção modular na iniciativa privada ou para o poder público. Desta forma pode-se concluir que essa pesquisa traz contribuições ao meio acadêmico e profissional, através de quatro vieses.

Pelo viés do desenvolvimento gerencial, as diretrizes apresentadas abrem novos horizontes para pesquisas relacionadas à industrialização da construção principalmente direcionadas ao uso e aplicação dos princípios lean e sua sinergia com o fluxo de valor da construção modular.

Pelo viés dos aspectos contratuais, este trabalho expõe a necessidade da adaptação dos diferentes métodos de entrega de projeto para construção modular, de maneira que possam suportar as características específicas deste sistema construtivo. Todavia, o fluxo de valor é diferente entre o sistema tradicional e a construção modular. Consequentemente, isso abre oportunidade para criação de novos métodos de entrega de projeto que se adequem a estas características da construção modular.

Pelo viés dos projetos arquitetônicos, pode-se dizer que existe a limitação dimensional do tamanho e geometria do módulo devido ao transporte. No entanto, isso não quer dizer que, necessariamente, limita a criatividade ou cria um empecilho para a flexibilidade dos projetos em construção modular.

Pelo viés do desenvolvimento da construção civil brasileira, esta pesquisa fornece informações relevantes para proprietários de obras que pretendem iniciar a contratação de obras em construção modular, incluindo o poder público.

Assim, o estudo em questão é um incentivador da contratação de obras em construção modular. Recomenda-se, em trabalhos posteriores, a investigação das razões pelas quais poucas empresas brasileiras adotam a construção modular.

Esta pesquisa tem como intuito fomentar o uso da construção modular no mercado da construção civil brasileiro e as diretrizes apresentadas servem como base de informações para apoio a tomada de decisão por proprietários que pretendam adotar este sistema construtivo. Recomenda-se, para trabalhos futuros, a aplicação dessas diretrizes em um projeto real, a fim de analisar a eficiência, fragilidades e incertezas dessas diretrizes.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, B.; CORREIA, W.; CAMPOS, F. Uso da escala Likert na análise de jogos. SBC - Proceedings of SB Games, Salvador, Brasil, 2011.

AL NAHYAN, M. et al. A fuzzy-based decision support system for ranking the delivery methods of mega projects. International Journal of Managing Projects in Business, 2018. V.11, Ed.1, pp.122-143 https://doi.org/10.1108/IJMPB-06-2017-0055.

ANAYA, K.; POLLITT, M. The role of distribution network operators in promoting cost-effective distributed generation: Lessons from USA for Europe. **Renewable and Sustainable Energy Review**, 2015. V.51, pp.484-496 http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.046.

AZHAR, S.; LUKKAD, M.; AHMAD, I. An Investigation of Critical Factors and Constraints for Selecting Modular Construction over Conventional Stick-Built Technique. **International Journal of Construction Education and Research**, 2013. V.9, 3, pp.203-225 https://doi.org/10.1080/15578771.2012.723115.

CARVALHO, B. Um método de entrega de projeto para a construção modular baseado nos princípios Lean. **Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil**, Curitiba-PR, 20 Maio 2020.

CARVALHO, B.; SCHEER, S. Lean as an Integrator of Modular Construction. **Modular and Offsite Construction Summit / Proceedings**, Banff, Canada, 2019. https://doi.org/10.29173/mocs88.

CORREA, F. Cyber-physical systems for construction industry. **IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS)**, St. Petersburg, Russia, 2018. DOI: 10.1109/ICPHYS.2018.8387690.

DORAN, D.; GIANNAKIS, M. An examination of modular supply chain: a construction sector perspective. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2011. V.16, 4, pp.260-270 https://doi.org/10.1108/13598541111139071.

DUNCHEVA, T.; HAIRSTANS, R. Decision support tool for enhancing the economic impact of construction using offsite systems. **Modular and Offsite Construction - Proceedings**, Banff, Canada, 2019. DOI: https://doi.org/10.29173/mocs84.

FORSYTHE, P.; FINI, A.; YAZDI, A. The value proposition of RFID Technology in Tall prefabricated timber buildings. **Modular and Offsite Construction - Proceedings**, Banff, Canada, 2019. DOI: https://doi.org/10.29173/mocs92.

HABIBI, A.; SARAFRAZI, A.; IZADYAR, S. Delphi Technique Theoretical Framework in Qualitative Research. **The International Journal of Engineering and Science (IJES)**, 2014. V.3, 4, pp.8-13.

HASHEMI, A.; HADJRI, K. Code for sustainable homes: Opportunities or threats for offsite manufacturing and mass customization? **Procs ZEMCH 2013 international conference**, Miami, USA, 2013. (ISBN: 978-0-9910608-0-1).

HSU, C.; SANDFORD, B. The Delphi Technique: Making Sense of Consensus. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, 2007. V.12, 10, http://pareonline.net/getvn.asp?v=12&n=10.

INNELLA, F.; ARASHPOUR, M.; BAI, Y. Lean Methodologies and Techniques for Modular Construction: Chronological and Critical Review. **Journal of Construction Engineering and Management**, 2019. V. 145, pp.04019076, DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001712.

JIN, R. et al. A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018. **Journal of Cleaner Production**, 2018. V.202, pp.1202 - 1219, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.195.

KAPLINSKI, O. Innovative solutions in construction industry. Review of 2016-2018 events and trends. **Engineering structures and technologies**, 2018. V.10, 1, pp.27-33, https://doi.org/10.3846/est.2018.1469.

LACEY, A. et al. Review of bolted inter-module connections in modular steel buildings. **Journal of Building Engineering**, 2019. V. 23, pp.207-219, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.035.

LAWSON, R.; OGDEN, R.; BERGIN, R. Application of Modular Construction in High-Rise Buildings. **Journal of Architectural Engineering**, 2012. V.18, 2, pp.148-154, https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000057.

LI, H. et al. Risk identification and assessment of modular construction utilizing fuzzy analytic hierarchy process (AHP) and simulation. **NRC Research Press**, 2013. V.40, pp.1184-1195, dx.doi.org/10.1139/cjce-2013-0013.

LU, N.; KORMAN, T. Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Modular Construction: Benefits and Challenges. **Construction Research Congress 2010**, 2010. 1136-1145, https://doi.org/10.1061/41109(373)114.

MCKAY, L. et al. Health and safety management of offsite construction: how close are we to production manufacturing. **4th Triennial International Conference - cib W99,** Port Elizabeth, South Africa, 2005. pp. 432-441, ISBN 0-620-33919-5..

MOSSMAN, A. Just in time delivery requires just in time production x2 sychronising factory and site for successful prefabrication. **Modular and Offsite Construction - Proceedings**, 2019. DOI: https://doi.org/10.29173/mocs85.

MUSA, M. et al. Enhancing the Quality of Life by Adopting Sustainable Modular Industrialised Building System (IBS) in the Malaysian Construction Industry. **AMER International Conference on Quality of Life**, 2014. V.153, pp.79-89, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.043.

NASIRIAN, A. et al. Skill Set Configuration in Prefabricated Construction: Hybrid Optimization and Multicriteria Decision-Making Approach. **Journal of Construction Engineering and Management**, 2019. V.145, 9, DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001677.

OKOLI, C.; PAWLOWSKI, S. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. **Information & Management**, 27 March 2004. V.42, 1, pp.15-29, https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002.

PASSARELLI, R. Environmental Benefits of Reusable Modular Mass Timber Construction for Residential use in Japan: an LCA Approach. **Modular and Offsite Construction - Proceedings**, Banff, Canada, 2019. DOI: https://doi.org/10.29173/mocs89.

RAMAJI, I.; MEMARI, A.; MESSNER, J. Product-Oriented Information Delivery Framework for Multistory Modular Building Projects. **Journal of Computing in Civil Engineering**, January 2017.

SALAMA, T.; MOSELHI, O.; AL-HUSSEIN, M. Modular Industry Characteristics and Barriers to its increased market share. **Modular and Offsite Construction (MOC). Proceedings**, Hollywood, Florida, 2018. DOI: https://doi.org/10.29173/mocs34.

SMITH, R. Permanent Modular Construction. Process, practice and performance. **Modular Building Institute Foundations and University of Utah.**, 2015.

WANG, M. et al. Automatic Material Estimation by Translating BIM Data into ERP Readable Data for Panelized Residential Construction. **Modular and Offsite Construction - Proceedings**, Banff, Canada, 2019. DOI: https://doi.org/10.29173/mocs71.

WRIGHT, J.; GIOVINAZZO, R. Delphi - Uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo (in Portuguese). **Caderno de Pesquisas em Administração**, August 2000. v.01, pp.54-65.

Bruno Soares de Carvalho
bruno.carvalho.ufpr@gmail.com

Sergio Scheer
scheer@ufpr.br

ZHAI, D. The relationship between information technology and construction productivity. **University of Kentucky Doctoral Dissertation**, 2010.