

Lean Construction e seus modelos construtivos pré-fabricados: limitações e desafios

Lean Construction and its prefabricated construction models: limitations and challenges

DOI: 10.53660/inter-166-s228

Flávia Motta Corvello

Universidade de Brasília (UnB)

 0000-0002-7158-1688

flaviamcorvello@gmail.com

Drielly Pena Cesar

Universidade de Araraquara (UNIARA)

 0000-0002-4380-1292

dpcesar@uniara.edu.br

José Luís Garcia Hermosilla

Universidade de Araraquara (UNIARA)

0000-0002-5104-6725

jlghermosilla@uniara.edu.br

Ethel Cristina Chiari da Silva

Universidade de Araraquara (UNIARA)

 0000-0002-4836-0246

eccsilva@uniara.edu.br

Resumo: A construção pré-fabricada tornou-se uma área importante na última década, não só por sua agilidade, mas também por sua adesão à filosofia *Lean Construction*, a qual promove a redução do volume de resíduos na construção civil e contribui para um menor impacto ambiental. A busca por um método de construção pré-fabricado mais eficiente e inovador tem promovido o desenvolvimento de diversos modelos diferentes, mas todos eles têm vantagens e desvantagens, principalmente relacionadas ao transporte, máquinas e mão-de-obra, quando aplicadas às pequenas construções. Este artigo tem como objetivo identificar por meio de uma revisão sistemática da literatura os principais e mais atuais modelos de construção pré-fabricada, identificar as lacunas existentes na sua operacionalização com relação a pequenos processos construtivos e propor novas linhas de investigação para solucionar ou minimizar os problemas da construção pré-fabricada. A pesquisa evidenciou a falta de modelos pré-fabricados versáteis que ajudem a melhorar a eficiência na etapa de alvenaria de preenchimento para pequenas construções, e que permitam a reutilização dos materiais. O desenvolvimento de novos produtos baseados no *Design for Deconstruction* (DfD) revelou ser uma alternativa promissora às limitações dos processos construtivos vigentes.

Palavras-chave: Construção enxuta, Pré-fabricação, Construções de pequeno porte, DfD.

***Abstract:** The prefabricated construction has become an important area over the last decade, not only for its agility, but also for its adherence to the Lean Construction philosophy, that promotes the reduction of the volume of waste in building and contributes to a lower environmental impact. The search for a more efficient and innovative prefabricated construction method has promoted the development of several different models, but all of them have advantages and disadvantages, mainly related to transportation, machinery, and labor, when applied to small buildings. This paper aims to identify through a systematic literature review the main and most current models of prefabricated construction, identify the gaps on the operationalization of small constructions processes and propose new research to solve the problems of prefabricated construction. The research evidenced the lack of versatile prefabricated models that help to improve the efficiency in the filling masonry stage for small buildings, and that allow the reuse of materials. The development of new products based on Design for Deconstruction (DfD) proved to be a promising alternative to the limitations of current construction processes.*

***Keywords:** Lean Construction, Prefabrication, Small Building, DfD.*

1 Introdução

A “eliminação completa de práticas de desperdício é o conceito básico do Sistema Toyota de Produção”, (OHNO, 1982, p.87), e foi com base nisso que em 1987, o líder de equipe John Krafcik, do segmento da indústria automobilística, decidiu denominá-lo de *Lean*, como referência aos princípios de redução dos esforços humanos, defeitos, tempo e investimento, que passaram a marcar a gestão da produção à época (WOMACK, 2013), entretanto, a nova filosofia só começou a ser difundida pelo mundo com a denominação *lean* após a publicação do artigo “*Triumph of the Lean Production System*” em 1988 de autoria de John F. Krafcik.

Esta filosofia, apesar de sua origem estar ligada ao setor automobilístico, influenciou outros segmentos, como o da indústria da construção civil, ambiente foco desta pesquisa, dando origem ao termo *Lean Construction* (LC). O LC representa um novo método de gestão para a área da construção civil, e passou a considerar todo o processo construtivo em um fluxo, englobando tanto as atividades de conversão (atividades que agregam valor), quanto às atividades que geram desperdícios (como tempo de espera e movimentação), em detrimento da visão tradicional de gestão do setor, que considerava apenas as atividades de conversão em sua gestão (KOSKELA, 1992).

Apesar dos ganhos proporcionados pela filosofia LC, ainda são muitos os desperdícios dos processos de produção da construção civil, principalmente na alvenaria tradicional, com uma média de 17% de perdas de tijolos cerâmicos na etapa de fechamento, e de 115% da argamassa (PINHO; LORDSLEEM JR., 2009). Essa etapa da

construção, considerada uma das mais críticas devido ao seu nível de desperdício, tem sido tema de preocupação e investigação por parte de diversos estudiosos, que tem apontado como solução o desenvolvimento de novos processos de produção como os de pré-fabricação, que segundo Li et al. (2018) é uma preocupação que surgiu na terceira etapa do desenvolvimento da filosofia *Lean Construction*, a partir de 2012.

Apesar da preocupação e dos esforços científicos, os estudos sobre esse tema ainda são recentes e não apresentam soluções (produto pré-fabricado) consistentes para os problemas dos desperdícios nas etapas de estrutura, fechamento e acabamento do processo de construção civil. Além disso, os produtos pré-fabricados existentes são feitos sob encomenda, exigem mão-de-obra especializada para serem utilizados, e a maioria depende de equipamentos específicos e de alto custo para seu transporte e montagem por conta de suas características dimensionais (SULZBACH, 2015; NAVARATNAM et al, 2019), inviabilizando sua utilização em obras residenciais de baixo custo. Do ponto de vista ambiental, os processos existentes também apresentam restrições, uma vez que dispõem de capacidade limitada para o reaproveitamento dos materiais utilizados nas obras, com o fim do ciclo de vida da construção, na etapa de demolição, o que aumenta o impacto ambiental provocado pelo descarte de seus resíduos; impacto que seria reduzido com materiais desmontáveis, como propostos pelo DfD (*Design for Deconstruction*), porém ainda pouco explorados pelos métodos construtivos atuais (IACOVIDOU; PURNELL, 2016; JAILLON; POON, 2014).

O objetivo deste trabalho é levantar, por meio de revisão sistemática da literatura, os principais modelos construtivos pré-fabricados que podem ser aplicados à construção civil de pequeno porte, identificar suas limitações e propor novas frentes de investigação.

A busca por soluções que reduzam os desperdícios e resíduos na construção civil, e em especial nas construções de pequeno porte, além dos ganhos ambientais, promove a redução dos custos e amplia o acesso à habitação por parte das classes sociais de mais baixa renda (CARVAJAL-ARANJO et al., 2019) e podem também contribuir para a melhoria das ações de assistência humanitária às populações em estado de vulnerabilidade ao redor do mundo como os refugiados e imigrantes que sofrem com a falta de moradia (ONU, 2020).

Uma das soluções apontadas para este problema é o desenvolvimento de produtos com *design* que prolonga o ciclo de vida dos elementos construtivos, pois sua reutilização reduz os custos das construções, diminui a pressão sobre o sistema com a menor necessidade de recursos e menor geração de resíduos na eventual etapa de demolição,

além de reduzir o descarte de materiais não-renováveis (IACOVIDOU; PURNELL, 2016).

2 Metodologia

A revisão sistemática da literatura, que usou as bases Scopus, *Web of Science* e *Science Direct*, foi utilizada para identificar as pesquisas mais recentes acerca do tema pré-fabricação, de forma a identificar as principais lacunas existentes na sua operacionalização em construções de pequeno porte, seu impacto ambiental, e estabelecer um comparativo da pesquisa em relação às publicações levantadas, para a solução dos problemas que se apresentam no segmento da construção civil.

O primeiro passo para a busca nas 3 bases de periódicos foi a seleção dos descritores que melhor representavam a temática da investigação, e que foram *lean construction*, *prefabrication*, e *small building*. A busca utilizando os 3 descritores juntos revelou que não há artigos com essas 3 palavras no título ou nas palavras chaves dos artigos. Sendo assim, foi realizada nova busca com a combinação 2 a 2 destes descritores nas bases de periódicos, que foram “*Lean Construction*” AND “*Prefabrication*”, “*Lean Construction*” AND “*Small Building*”, “*Prefabrication*” AND “*Small Building*”. Nesta segunda busca, foram selecionados artigos que contivessem os descritores em qualquer parte do artigo, seja no título, nas palavras chaves ou no texto. Este procedimento, desconsiderando o ano de publicação, resultou em 633 artigos, os quais foram reduzidos a 424, quando considerados apenas os publicados a partir de 2014. Após excluir os trabalhos duplicados (36 artigos), o levantamento foi reduzido a 388 publicações.

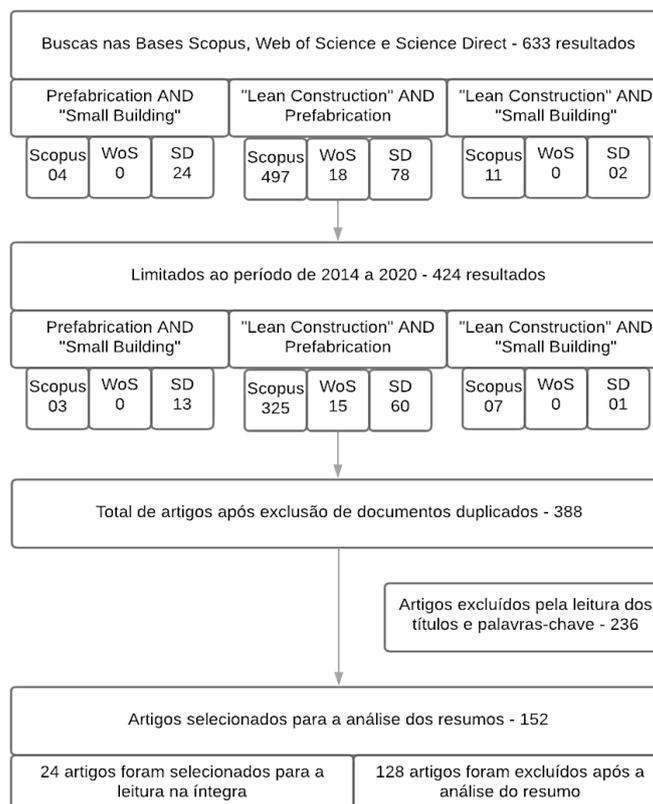
Um novo filtro foi aplicado à relação anterior, com o objetivo de eliminar os artigos que não tinham como foco os processos de pré-fabricação, excluindo-se aqueles que não apresentavam no título ou nas palavras chaves, os descritores citados anteriormente, e que continham alguma das palavras “BIM” (*Building Information Modeling*), “custos” ou “cadeia de suprimentos”, o que resultou em 152 publicações, as quais foram selecionados para a análise do *abstract*.

Vale ressaltar que, inicialmente, temas como “emissão de gases” e “construção verde” estavam entre os critérios de exclusão, juntamente com os termos citados antes (BIM, custos e cadeia de suprimentos), no entanto, após ser observado nos títulos levantados a provável relação entre a temática de pesquisa e o meio ambiente, optou-se por mantê-los nesta etapa da seleção.

Dos 152 artigos, 24 foram selecionados para leitura na íntegra, e os demais descartados por tratarem de temáticas diferentes da investigada como determinação da resistência com relação à pré-fabricados, certificações ou limitações antigas.

A sistemática adotada para a seleção dos artigos científicos pode ser visualizada na Figura 1 (Prisma *Workflow*).

Figura 1 – Prisma *Workflow* da pesquisa.



Fonte: os próprios autores.

3 Resultados e análises

Embora tenham sido identificadas diferentes abordagens no levantamento bibliográfico realizado, assim como ênfases quanto aos aspectos da pré-fabricação nas construções e na relação com o meio ambiente, é notório o consenso entre os autores, quanto aos problemas ainda existentes no setor da construção civil, que não puderam ser solucionados pelos métodos de pré-fabricação até então vigentes.

A análise dos 24 artigos selecionados para leitura na íntegra permitiu a construção de um cenário evolutivo para a pré-fabricação que pode ser caracterizado em 3 etapas para melhor compreensão: (1) a ascensão da pré-fabricação na esteira evolutiva do *Lean Construction*; (2) a sua relação com o meio ambiente no contexto da construção civil; e

(3) os métodos de construção utilizados na pré-fabricação. As figuras 2 e 3 mostram a classificação temática principal dos trabalhos selecionados, e sua distribuição quantitativa, respectivamente. Outro aspecto que a análise bibliográfica do material selecionado revelou foi a atenção dispensada a determinados temas e a falta dela para outros, considerando a frequência com que foram referenciados nos materiais científicos, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 2 – Temática principal investigada nos artigos selecionados.

AUTORES	TÍTULO	ANO	SUBTEMA PRINCIPAL DA INVESTIGAÇÃO
Babalola, O., Ibem, E.O., Ezema, I.C.	Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review	2019	Pré-fabricação no Lean Construction
Li, L., Li, Z., Li, X., Wu, G.	A review of global lean construction during the past two decades: analysis and visualization	2019	Pré-fabricação no Lean Construction
Bajjou, M.S., Chafi, A., Ennadi, A.	Development of a Conceptual Framework of Lean Construction Principles: An Input-Output Model	2019	Pré-fabricação no Lean Construction
Jin, R., Gao, S., Cheshmehzangi, A., Aboagye-Nimo, E.	A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018,	2018	Pré-fabricação no Lean Construction
Carvajal-Arango, D., Bahamón-Jaramillo, S., Aristizábal-Monsalve, P., Vásquez-Hernández, A., Botero, L.F.B.	Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase,	2019	Pré-fabricação no Lean Construction
Solaimani, S., Sedighi, M.	Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review	2019	Pré-fabricação no Lean Construction
Antillón, E.I., Morris, M.R., Gregor, W.	A value-based cost-benefit analysis of prefabrication processes in the healthcare sector: A case study	2014	Pré-fabricação no Lean Construction
Kesidou, S.L., Sorrell, S.	Low-carbon innovation in non-domestic buildings: The importance of supply chain integration,	2018	Aspectos Ambientais da Pré-fabricação
Polat, G., Damci, A., Turkoglu, H., Gurgun, A.P.	Identification of Root Causes of Construction and Demolition (C&D) Waste: The Case of Turkey	2017	Aspectos Ambientais da Pré-fabricação
Iacovidou, E., Purnell, P.	Mining the physical infrastructure: Opportunities, barriers and interventions in promoting structural components reuse	2016	Aspectos Ambientais da Pré-fabricação
Gao, S., Low, S.P., Nair, K.	Design for manufacturing and assembly (DfMA): a preliminary study of factors influencing its adoption in Singapore	2018	Métodos de Pré-fabricação
Navaratnam, S., Ngo, T., Gunawardena, T., Henderson, D.	Performance review of prefabricated building systems and future research in Australia	2019	Métodos de Pré-fabricação
Ayinla, K.O., Cheung, F., Tawil, A.-R.	Demystifying the concept of offsite manufacturing method: Towards a robust definition and classification system	2019	Métodos de Pré-fabricação
Mostafa, S., Chileshe, N., Abdelhamid, T.	Lean and agile integration within offsite construction using discrete event simulation A systematic literature review	2016	Métodos de Pré-fabricação
Bhattacharjee, S., Pishdad-Bozorgi, P., Ganapathy, R.	Adoption of Pre-Fabrication in Construction to Achieve Sustainability Goals: An Empirical Study	2016	Métodos de Pré-fabricação
Serra Soriano, B., Verdejo Gimeno, P., Díaz Segura, A., Merí De La Maza, R.	Assembling sustainable ideas: The construction process of the proposal SMLsystem at the Solar Decathlon Europe 2012	2014	Métodos de Pré-fabricação
Gallardo, C.A.S., Granja, A.D., Picchi, F.A.	Productivity gains in a line flow precast concrete process after a basic stability effort	2014	Métodos de Pré-fabricação
Bamana, F., Lehoux, N., Cloutier, C.	Simulation of a Construction Project: Assessing Impact of Just-in-Time and Lean Principles	2019	Métodos de Pré-fabricação
Shahpari, M., Saradj, F.M., Pishvae, M.S., Piri, S.	Assessing the productivity of prefabricated and in-situ construction systems using hybrid multi-criteria decision making method	2020	Métodos de Pré-fabricação
Li, L., Li, Z., Li, X., Zhang, S., Luo, X.	A new framework of industrialized construction in China: Towards on-site industrialization	2020	Métodos de Pré-fabricação
Tam, V.W.Y., Fung, I.W.H., Sing, M.C.P., Ogunlana, S.O.	Best practice of prefabrication implementation in the Hong Kong public and private sectors,	2015	Métodos de Pré-fabricação
Wang, Q., Zhang, S., Wei, D., Ding, Z.	Additive Manufacturing: A Revolutionized Power for Construction Industrialization	2018	Métodos de Pré-fabricação
Bamana, F., Lehoux, N., Cloutier, C.	Just in time in construction: Description and implementation insights	2017	Métodos de Pré-fabricação
Baghchesaraei, A., Kaptan, M.V., Baghchesaraei, O.R.	Using prefabrication systems in building construction	2015	Métodos de Pré-fabricação

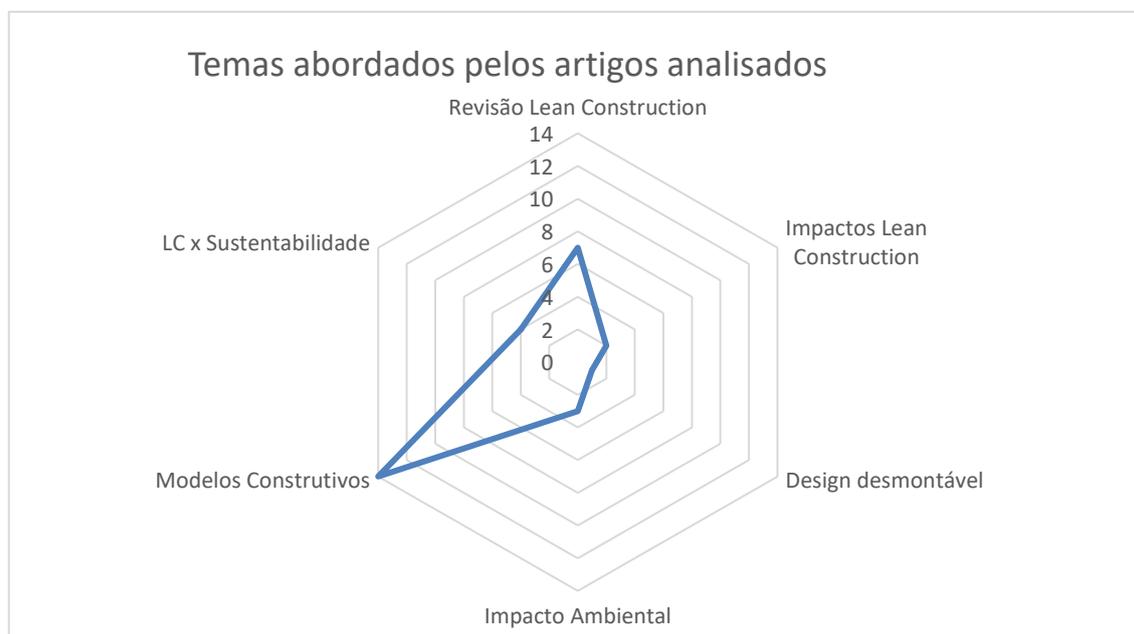
Fonte: os próprios autores.

Figura 3 – Quantidade de artigos por subtemas que foram levantados na revisão sistemática da literatura.

Subtema investigado	Quantidade de artigos
Pré-fabricação no Lean Construction	07
Aspectos ambientais da pré-fabricação	03
Métodos de pré-fabricação	14

Fonte: os próprios autores.

Figura 4 – Temas abordados pelos 24 artigos analisados.



Fonte: os próprios autores.

A evolução do *Lean Construction* e suas fases ao longo do tempo podem ser melhor compreendidas observando as publicações acerca deste tema, que segundo Li et al. (2019) podem ser divididas em três períodos: o primeiro de 1997 a 2006, revelou a preocupação à época com questões relacionadas a custos e gestão de custos das obras, gestão e controle de qualidade e sustentabilidade; o segundo período, de 2007 a 2011, mostrou que os temas mais recorrentes na área eram relativos a gestão da cadeia de suprimentos, fluxo de trabalho e planejamento e programação da obra (*Planning and Scheduling* - P&S) e, por último, o período de 2012 a 2016, indicou que as atenções

voltaram-se para a ascensão da construção pré-fabricada e do BIM (*Building Information Modeling*) no ramo da construção.

A literatura especializada mostra que as características deste último período perduram até os dias atuais, e revelam ainda que a pré-fabricação (*on-site e off-site*) e o BIM são considerados os principais pilares do processo de melhoria da construção civil no momento; o BIM por apresentar as mais atuais tecnologias de integração da informação dentre os atores da cadeia produtiva da construção civil, ou seja, aquelas apresentadas pela Quarta Revolução Industrial, e a pré-fabricação por seu potencial na eliminação dos desperdícios em canteiros de obra, na diminuição do tempo de construção e na redução do impacto ambiental (LI et al., 2019; CARVAJAL-ARANGO et al., 2019; BAIJOU et al., 2019; BABALOLA et al., 2019; SOLAIMANI; SEDIGHI, 2019; ANTILLÓN et al., 2014; JIN et al., 2018).

A preocupação com o meio ambiente também é outro aspecto recorrente nas pesquisas envolvendo a pré-fabricação no contexto do *Lean Construction*, por se tratar de uma alternativa que se apresenta como viável dentro de determinadas circunstâncias para mitigar os impactos das atividades da construção civil sobre o meio.

Dentre os principais impactos que a atividade civil provoca, destacam-se todos os materiais não-renováveis que são utilizados nas construções e reformas, retirados do meio ambiente e que não podem ser renovados, situação essa, agravada em muitos casos pela transformação destes materiais em lixo e resíduos da obra, acumulados durante as fases da construção, com perdas intensificadas pela mão-de-obra pouco qualificada existente na construção tradicional; essas perdas são ainda mais potencializadas em outras etapas da obra como eventuais processos de reforma, em que parte destes materiais são descartados, além das demais perdas de recursos para o reprocessamento de atividades que já tinham sido acabadas, e de forma mais intensa nos processos de demolição, em que todo este material não-renovável é perdido (POLAT; PURNELL, 2015). Uma alternativa que se apresenta a esse desafio é a reutilização destes materiais para promover a sustentabilidade no setor da construção, no entanto, para que essa alternativa seja viável ela deveria ser precedida de programas de incentivo e treinamento, e que contasse com materiais que apresentassem condições apropriadas que permitissem sua remanufatura, fato que é defendido por Iacovidou e Purnell (2016), que propõem uma ferramenta para gerenciar esta reutilização. Os autores também apontam como alternativa e solução para o meio ambiente modelos construtivos que possuam um design reutilizável (recebem o nome de *Design for Deconstruction* ou *Design for Reuse*), o que reduziria a utilização de

recursos não-renováveis e tornaria o processo da construção mais sustentável; o design de modelos voltados ao reuso ou desmontagem também poderia ser a solução para os problemas ambientais relacionados à demolição de obras, com o fim do ciclo de vida desses recursos e a necessidade de aterros para o descarte do entulho. Entretanto, este design está disponível apenas para alguns itens da construção, o que impossibilita a desmontagem integral das obras para a reutilização das peças.

Em adição ao exposto, a preocupação com a grande quantidade de emissão de carbono durante as diversas etapas do processo de construção tem ganhado força. Os elevados níveis de emissão de carbono produzidos nos processos de construção e de demolição, tem se tornado um dos maiores problemas e limitantes do segmento da construção civil para o desenvolvimento sustentável do negócio. Este fato é explicado em grande parte pelo uso intensivo de máquinas durante todo o ciclo de vida da construção, desde a produção dos elementos e itens básicos para a construção, com destaque para o processo exotérmico do concreto, o transporte das matérias-primas e dos produtos acabados, até uma eventual etapa de demolição. A utilização de alguns métodos de pré-fabricação pode realmente reduzir a produção de resíduos no canteiro de obra na etapa da construção ou montagem, mas a necessidade de adaptação dos métodos para construção de baixo carbono ainda existe, já que estes processos não estão livres das máquinas para montagem e transporte (KESIDOU; SORREL, 2018).

A literatura especializada recente apresenta 4 principais grupos de modelos de construções pré-fabricados, que se diferem quanto as atividades de montagens, limitações e benefícios proporcionados (AYINLA et al., 2019; MOSTAFA et al., 2016; BAMANA et al., 2017; BAGHCHESARAEI et al., 2015).

A construção em painéis e madeira é um dos processos pré-fabricados citados, que possui como característica a versatilidade, já que consegue adaptar-se aos diferentes designs de construção. A evolução desta técnica construtiva permitiu a substituição da atividade de construção pela de montagem, o que tende a reduzir o tempo de obra e seus custos, além de permitir sua desmontagem e a reutilização dos produtos. Em contrapartida, a construção em painéis e madeira tem limitações quanto à fragilidade e a resistência, o que restringe sua aceitação. Outra desvantagem é a exigência de mão-de-obra qualificada para sua montagem (BHATTACHARJEE et al., 2016; SORIANO et al., 2014; BAMANA et al., 2019).

A construção pré-fabricada em concreto é outro processo que pode ser realizado no local da obra (*on-site*) ou na indústria (*off-site*). Por assemelhar-se muito à construção

tradicional, este tipo de pré-fabricação tem melhor aceitação pelo mercado, se comparado aos demais, uma vez que utiliza material com as mesmas características de resistência e recomendações técnicas que as grandes obras. O uso desta técnica reduz o desperdício e o tempo para execução da obra, e aumenta a produtividade dos processos de construção. Em contrapartida, os materiais utilizados na execução da obra são de difícil locomoção, necessitando de condições especiais para o transporte e construção, aumentando os custos da obra, de forma a inviabilizar este processo para construções de pequeno porte (LI et al., 2020; SHAHPARI et al., 2020; GALHARDO et al., 2014; TAM et al., 2015).

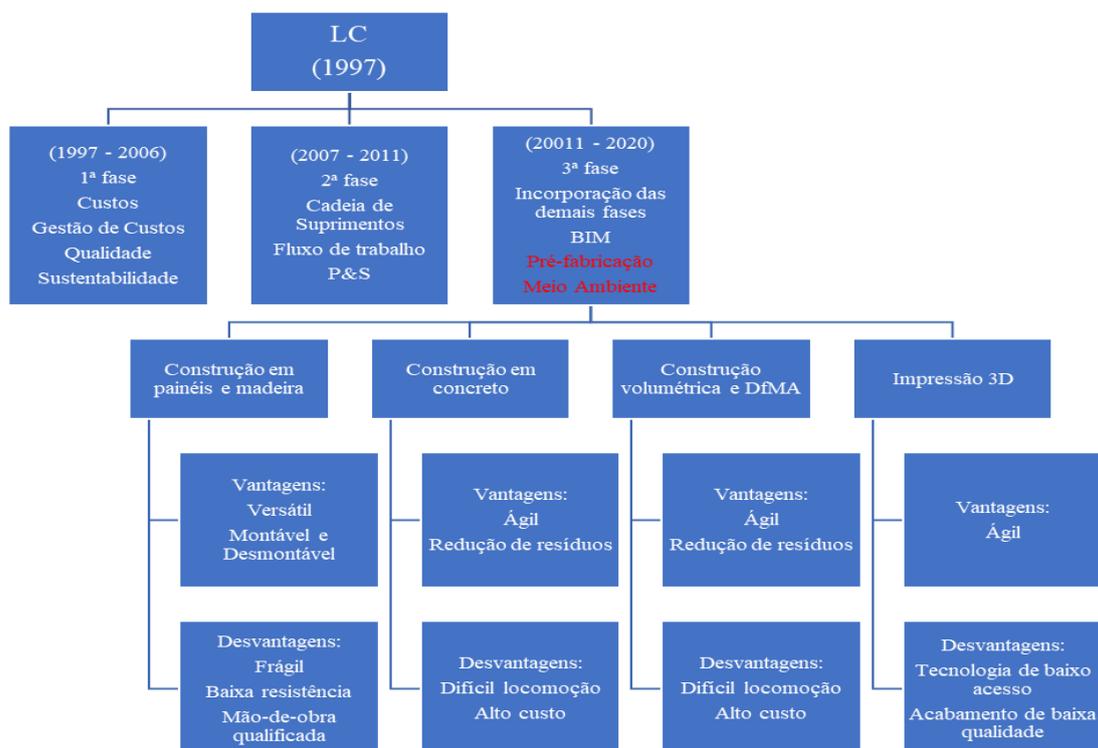
A construção volumétrica e DfMA (*Design for Manufacture and Assembly*) pode ser compreendida como uma alternativa de processo de pré-fabricação, que se caracteriza pela produção individualizada de cômodos da obra, como banheiros e cozinhas, que se assemelham a grandes caixas de concreto, que são encaixadas às outras peças pré-fabricadas na obra, por meio de guindastes e grandes equipamentos. Esta alternativa tem como pontos positivos a agilidade da construção local e a redução de resíduos no canteiro de obra, já que até o acabamento está concluído neste processo. Uma variação desta técnica de construção volumétrica é a pré-fabricação em *containers*, que pode ser utilizada para construir desde pequenas casas até grandes obras, reaproveitando *containers* que não seriam mais utilizados, dispensando o uso de alguns materiais não-renováveis utilizados nas etapas de fechamento da obra. O principal aspecto positivo deste modelo de construção é a expressiva redução no tempo das grandes obras, porém, dependem de grandes maquinários específicos para o transporte e montagem da construção, o que encarece o uso em pequenas obras (GAO et al., 2018; NAVARATNAM et al., 2019).

Essa pesquisa também constatou que a impressão 3D é a mais nova forma de pré-fabricação no local, na qual grandes impressoras imprimem em concreto a obra previamente projetada. Entre as vantagens desta tecnologia, está a agilidade na construção, o que permite a impressão de pequenas casas em horas, não apresenta desperdício de material e, possui baixo custo em função do uso mais racional da matéria-prima. As desvantagens deste processo concentram-se na dificuldade de acesso à esta tecnologia, já que ainda é pouco difundida, além da impossibilidade de reutilização do material, que não pode ser desmontado, e da falta de qualidade no acabamento das paredes (WANG et al., 2018).

A análise dos diversos processos citados revelou pontos em comum, mencionados em todas as investigações levantadas, que permitem compreender melhor o cenário atual

no qual se encontra a construção civil mundial, e os pilares desta nova era neste segmento da economia: o *Lean Construction*, a Pré-fabricação e a preocupação com a sustentabilidade. A cronologia do processo evolutivo do *Lean Construction* como se observa na Figura 5, revela com mais clareza as evidências citadas anteriormente, mostrando também as vantagens e desvantagens dos recentes modelos construtivos oriundos desta terceira fase do LC, vinculados especificamente à pré-fabricação e ao meio ambiente.

Figura 5 – Síntese evolutiva do *Lean Construction* aos processos construtivos pré-fabricados.



Fonte: os próprios autores.

O Quadro 1 apresenta uma síntese que relaciona os processos construtivos pré-fabricados apresentados com os artigos analisados.

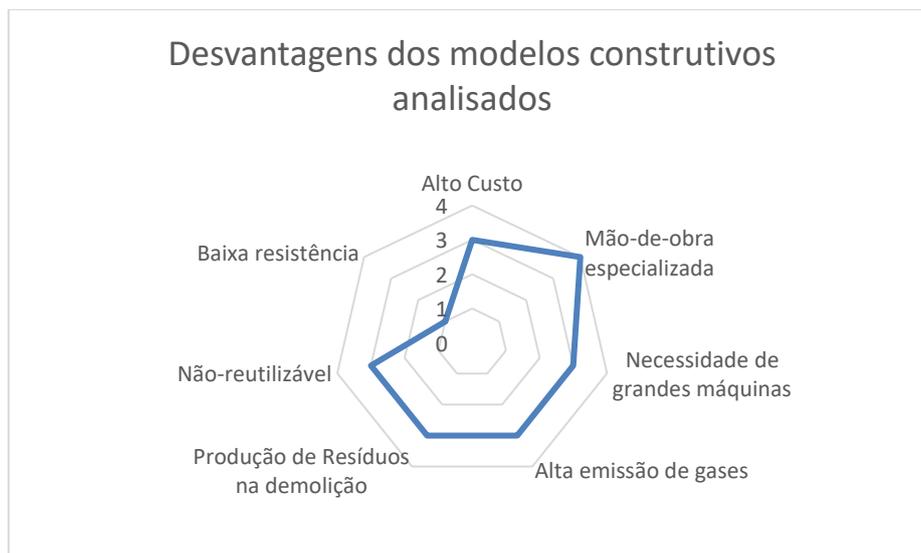
Quadro 1 – Síntese dos modelos construtivos – pré-fabricação – abordados nos artigos em analisados.

MODELOS CONSTRUTIVOS DE PRÉ-FABRICAÇÃO	ARTIGO DE REFERÊNCIA NESTA PESQUISA		
	AUTORES	TÍTULO	ANO
Construção em Painéis de Madeira	Bamana, F., Lehoux, N., Cloutier, C.	Simulation of a Construction Project: Assessing Impact of Just-in-Time and Lean Principles	2019
	Bhattacharjee, S., Pishdad-Bozorgi, P., Ganapathy, R.	Adoption of Pre-Fabrication in Construction to Achieve Sustainability Goals: An Empirical Study	2016
	Serra Soriano, B., Verdejo Gimeno, P., Diaz Segura, A., Meri De La Maza, R.	Assembling sustainable ideas: The construction process of the proposal SMLsystem at the Solar Decathlon Europe 2012	2014
Construção em Concreto	Gallardo, C.A.S., Granja, A.D., Picchi, F.A.	Productivity gains in a line flow precast concrete process after a basic stability effort	2014
	Li, L., Li, Z., Li, X., Zhang, S., Luo, X.	A new framework of industrialized construction in China: Towards on-site industrialization	2020
	Shahpari, M., Saradj, F.M., Pishvae, M.S., Piri, S.	Assessing the productivity of prefabricated and in-situ construction systems using hybrid multi-criteria decision making method	2020
	Tam, V.W.Y, Fung, I.W.H, Sing, M.C.P., Ogunlana, S.O.	Best practice of prefabrication implementation in the Hong Kong public and private sectors,	2015
Construção Volumétrica ou DfMA	Gao, S., Low, S.P., Nair, K.	Design for manufacturing and assembly (DfMA): a preliminary study of factors influencing its adoption in Singapore	2018
	Navaratnam, S., Ngo, T., Gunawardena, T., Henderson, D.	Performance review of prefabricated building systems and future research in Australia	2019
Impressão 3D	Wang, Q., Zhang, S., Wei, D., Ding, Z.	Additive Manufacturing: A Revolutionized Power for Construction Industrialization	2018

Fonte: os próprios autores.

Os desperdícios de tempo e materiais não são mais tolerados, assim como o lixo nos canteiros de obras; o impacto ambiental tornou-se uma preocupação real, e considera-se que já existe tecnologia e mão-de-obra qualificada para que isto seja aplicado nas grandes construções com o uso das técnicas de pré-fabricação. O que ainda carece de uma solução apropriada é o desenvolvimento de um método construtivo para as obras de pequeno porte, que seja acessível à população de mais baixa renda, ou pessoas em situação de vulnerabilidade, como os refugiados, que precisam de abrigo em regiões diferentes do globo e são itinerantes. Esta lacuna que distancia a pré-fabricação da plena sustentabilidade fica mais clara quando destacadas as principais desvantagens observadas nos artigos analisados (ver Figura 6).

Figura 6 – Desvantagens levantadas nos quatro grupos de modelos construtivos de pré-fabricação indicados nos artigos analisados.



Fonte: Elaboração própria.

Os métodos que podem ser aplicados às pequenas construções demandam mão-de-obra especializada (como é o caso da pré-fabricação com painéis) e/ou grandes máquinas e alta tecnologia (como a impressão 3D no local). Esses fatores elevam os custos destes sistemas construtivos e restringem a reutilização do material, seja pelo *design* inadequado ou pela incapacidade de desmontagem das partes, além de aumentarem as perdas ou resultarem em demolição nos casos de modificação ou reforma da construção (IACOVIDOU; PURNELL, 2016; JAILLON; POON, 2014).

Outro aspecto que merece ser discutido neste contexto é o papel e a oferta de profissionais na área da construção civil diante de um cenário evolutivo do ponto de vista tecnológico e de gestão, como o que se apresenta. A absorção de novos conhecimentos e sua correspondente transformação em habilidades profissionais capazes de elevar o nível de qualificação da mão de obra são processos que demandam tempo e carecem também de investimentos e políticas específicas (NAVARATNAM et al., 2019).

Tradicionalmente a área da construção civil caracteriza-se por profissionais de baixa qualificação, dos quais são exigidos esforços muito mais de natureza física que mental. A evolução do processo construtivo tradicional para o que vem se apresentando diante do contexto marcado pela filosofia *Lean Construction*, exigirá também mudanças culturais no segmento e em todos os níveis profissionais, acostumados a conviver com elevados índices de desperdícios, que de uma forma geral e perniciosamente passaram a ser incorporados e aceitos no dia a dia do setor (PINHO; LORDSLEEM JR., 2009).

4 Conclusões

A filosofia *Lean Construction* é bem estabelecida no mundo, especialmente em países desenvolvidos. A preocupação com a geração de resíduos e emissão de gases nas etapas de construção e demolição tem sido os principais motivos para o desenvolvimento de novos sistemas de construção. A pré-fabricação é capaz de abordar as três dimensões da sustentabilidade: econômica, social e ambiental (BHATTACHARJEE et al., 2016), mas a maioria dos modelos pré-fabricados depende de grandes máquinas para sua montagem e transporte, o que aumenta o processo de construção e aumenta a emissão total de gases da construção (SORIANO et al., 2014).

Entre os diversos modelos pré-fabricados analisados e contextualizados com a maturidade da *Lean Construction*, é possível afirmar que a evolução tecnológica no setor da construção civil cresceu exponencialmente nas últimas duas décadas, reduzindo o tempo de construção e seu desperdício. No entanto, ainda são tecnologias caras, que utilizam mão-de-obra e equipamentos específicos, inviabilizando a construção em determinadas regiões e limitando o acesso à população de menor renda, uma vez que são, em sua maioria, voltadas à grandes construções.

As limitações dos processos atuais de construção, que restringem o acesso a obras civis residenciais por grande parte da população mundial em estado de vulnerabilidade e, por outro lado, as possibilidades de melhoria nos processos atuais que permitem maior eficiência ambiental no uso dos recursos, abrem perspectivas interessantes para o setor. Uma das alternativas, pouco explorada na literatura, mas que se apresenta como uma forma alternativa e complementar às técnicas mencionadas, é o investimento na concepção de elementos construtivos que permitam o uso mais racional dos recursos naturais, bem como seu reaproveitamento. Esses elementos poderiam inclusive contar com características de intercambialidade que promovessem flexibilidade às construções conferindo a elas flexibilidade para serem montadas e desmontadas com perdas mínimas. O investimento em sistemas construtivos com essas características e com design que considerem também a facilidade de manuseio desses elementos construtivos, por parte dos trabalhadores, sem a necessidade de elevada formação técnica ou suporte mecânico, se apresenta como sendo de grande viabilidade social e econômica para o segmento e para o país. A concepção de elementos de construção, como blocos, tijolos ou outros produtos semelhantes, segundo os princípios da desconstrução, ou seja, concebidos para serem desmontáveis, é uma tendência que se observa em todos os países, denominada DfD

(*Design for Deconstruction*). Esse conceito se apresenta como uma alternativa promissora na busca pela sustentabilidade no segmento da construção civil, ao mesmo tempo em que promove maior acessibilidade a moradia por parte da população, em função das características que definem seus produtos (praticidade, usabilidade e conforto). Essa tecnologia, apesar de também promover práticas de construção mais racionais, necessita de maior profusão e investimentos para tornar-se uma realidade consistente e de fato acessível à população.

Pouco se tratou até o momento das soluções que consideram o elemento de preenchimento ou estrutural como parte importante da solução para os desafios colocados. A atenção do trabalho de pesquisa voltou-se mais para as técnicas de construção em si e para a industrialização dos processos de construção civil, porém, o desenvolvimento de produtos pode ser um importante aliado, que proporcionará ganhos em escala no processo como um todo, devido aos seus efeitos ao longo da sequência de atividades da construção.

O desenvolvimento de técnicas de pré-fabricação mais eficientes ainda é um desafio a ser superado, como a dificuldade de acesso a esse tipo de construção pelas classes de baixa renda, a dificuldade de locomoção de seus elementos construtivos pré-fabricados e a alta quantidade de resíduos e gases gerados no processo fabril, que afetam o meio ambiente. Por outro lado, essas dificuldades também se apresentam como oportunidades de melhoria que se revelam num cenário de grande evolução para o setor em todo o mundo. O desenvolvimento de produtos com *design* mais adequado, que tenha intercambialidade e o uso mais racional dos recursos como características, apresenta-se como uma possível solução para construções de baixo custo e grande alcance social. Além disso, os benefícios poderão ser ainda maiores se for considerado nesse tipo de estratégia o uso de novos materiais, podendo aqui ser incluído o reuso de materiais considerados atualmente menos nobres como os descartados como plástico e cerâmica.

Referências

ANTILLÓN, E. I.; MORRIS, M. R.; GREGOR, W. A value-based cost-benefit analysis of prefabrication processes in the healthcare sector: a case study. In: Kalsaas, BT, Koskela, L. & Saurin, TA, Proc. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2014, Oslo, **Anais...**, Oslo: IGLC, 2014, p. 25-27.

AYINLA, K. O.; CHEUNG, F.; TAWIL, A. Demystifying the concept of offsite manufacturing method: Towards a robust definition and classification system. **Construction Innovation**, 2019. doi:10.1108/CI-07-2019-0064

BABALOLA, O.; IBEM, E. O.; EZEMA, I. C. Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review. **Building and Environment**, v. 148, p. 34-43, 2019. doi:10.1016/j.buildenv.2018.10.051

BAGHCHESARAEI, A.; KAPTAN, M. V.; BAGHCHESARAEI, O. R. Using prefabrication systems in building construction. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 10, n. 24, p. 44258-44262, 2015.

BAJJOU, M. S.; CHAFI, A.; ENNADI, A. Development of a Conceptual Framework of Lean Construction Principles: An Input–Output Model. **Journal of Advanced Manufacturing Systems**, v. 18, n. 01, p. 1-34, 2019. doi:10.1142/s021968671950001x

BAMANA, F.; LEHOUX, N.; CLOUTIER, C. Just in Time in Construction: Description and Implementation Insights. In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2017, Heraklion, **Anais...**, Heraklion: IGLC, 2017, pp 763-770.

BAMANA, F.; LEHOUX, N.; CLOUTIER, C. Simulation of a construction project: assessing impact of just-in-time and lean principles. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 5, p. 05019005, 2019.

BHATTACHARJEE, S.; PISHDAD-BOZORGI, P.; GANAPATHY, R. Adoption of pre-fabrication in construction to achieve sustainability goals: an empirical study. In: **Construction Research Congress 2016**. 2016. p. 1050-1060. doi:10.1061/9780784479827.106

CARVAJAL-ARANGO, D.; BAHAMÓN-JARAMILLO, S.; ARISTIZÁBAL-MONSALVE, P.; VÁSQUEZ-HERNÁNDEZ, A.; BOTERO BOTERO, L. F. Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. **Journal of Cleaner Production**, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.216

GALLARDO, C. A. S.; GRANJA, A. D.; PICCHI, F. A. Productivity gains in a line flow precast concrete process after a basic stability effort. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 4, p. B4013004, 2014.

GAO, S.; LOW, S. P.; NAIR, K. Design for manufacturing and assembly (DfMA): a preliminary study of factors influencing its adoption in Singapore. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 14, n. 6, p. 440-456, 2018. doi:10.1080/17452007.2018.1502653

IACOVIDOU, E.; PURNELL, P. Mining the physical infrastructure: Opportunities, barriers and interventions in promoting structural components reuse. **Science of the Total Environment**, v. 557, p. 791-807, 2016. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.03.098

JAILLON, L.; POON, C. S. Life cycle design and prefabrication in buildings: A review and case studies in Hong Kong. **Automation in Construction**, 2013.

JIN, R.; GAO, S.; CHESGMEHZANG, A.; ABOAGYE-NIMO, E. A Holistic Review of off-site Construction Literature Published between 2008 and 2018. **Journal of Cleaner Production**, 20, 1202-1219, 2018. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.195

KESIDOU, S. L.; SORRELL, S. Low-carbon innovation in non-domestic buildings: The importance of supply chain integration. **Energy Research & Social Science**, 25, 195-213, 2018. doi:10.1016/j.erss.2018.07.018

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Salford: Center for Integrated Facility Engineering, 1992.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Salford: Center for Integrated Facility Engineering, 1992.

KRAFCIK, J.F. Triumph of the Lean Production System. **MIT International Motor Vehicle Program**, Vol. 30, 1988.

LI, L.; LI, Z.; LI, X.; WU, G. A review of global lean construction during the past two decades: analysis and visualization. **Engineering Construction and Architectural Management**, 2018.

LI, L.; LI, Z.; LI, X.; ZHANG, S.; LUO, X. A new framework of industrialized construction in China: Towards on-site industrialization. **Journal of Cleaner Production**, 244, 118469, 2020. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118469

MOSTAFA, S.; CHILESHE, N.; ABDELHAMID, T. Lean and agile integration within offsite construction using discrete event simulation. **Construction Innovation**, 2016. doi:10.1108/ci-09-2014-0043

NAVARATNAM, S.; NGO, T.; GUNAWARDENA, T.; HERDERSON, D. Performance review of prefabricated building systems and future research in Australia. **Buildings**, 2019.

OHNO, T. How the Toyota Production System was Created. **Japanese Economic Studies**, 10:4, 83-101, 1982.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Reassentamento de refugiados poderá ter queda recorde em 2020**. 2020. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/101780-reassentamento-de-refugiados-podera-ter-queda-recorde-em-2020>>. Acesso em: novembro 2020.

PINHO, S.A.C.; LORDSLEEM JR, A.C. O custo da perda de blocos/tijolos e argamassa da alvenaria de vedação: estudo de caso na construção civil. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS (CBC), **Anais...**, Fortaleza, CE, 2009.

POLAT, G.; DAMCI, A.; TURKOGLU, H.; GURGUN, A. P. Identification of root causes of construction and demolition (C&D) waste: The case of Turkey. **Procedia engineering**, v. 196, p. 948-955, 2017. doi:10.1016/j.proeng.2017.08.035

SHAHNARI, M.; SARADJ, F. M.; PISHVAEE, M. S.; PIRI, S. Assessing the productivity of prefabricated and in-situ construction systems using hybrid multi-criteria decision making method. **Journal of Building Engineering**, v. 27, p. 100979, 2020. doi:10.1016/j.jobbe.2019.100979

SOLAIMANI, S.; SEDIGHI, M. Toward a holistic view on lean sustainable construction: A literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119213, 2019. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119213

SORIANO, B. S.; GIMENO, P. V.; SEGURA, A. D.; MAZA, R.M. Assembling sustainable ideas: The construction process of the proposal SMLsystem at the Solar Decathlon Europe 2012. **Energy and Buildings**, v. 83, p. 186-194, 2014.

SULZBACH, S.L. **Sistema construtivo parede de concreto: comparativo entre pré-fabricação e moldagem in loco**. Trabalho de conclusão de graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

TAM, V.W.Y.; FUNG, I. W. H.; SING, M. C. P.; OGUNLANA, S. O. Best practice of prefabrication implementation in the Hong Kong public and private sectors. **Journal of Cleaner Production**, v. 109, p. 216-231, 2015. doi:10.1016/j.jclepro.2014.09.045

WANG, Q.; ZHANG, S.; WEI, D.; DING, Z. Additive Manufacturing: A Revolutionized Power for Construction Industrialization. In: International Conference on Construction and Real Estate Management 2018, South Carolina, **Anais...**, South Carolina: ASCE, 2018, pp. 85-94. doi:10.1061/9780784481721.010

WOMACK, J. **Gemba Walks: Expanded 2nd Edition**. Lean Enterprise Institute, 2013.

Recebido em: 01/03/2021

Aceito em: 20/03/2021

Publicado em: 30/03/2021