

AVALIAÇÃO DE CUSTO DIRETO E BENEFÍCIOS DO SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAINÉIS SANDUÍCHE, COM NÚCLEO DE GARRAFAS PET, MOLDADOS NO LOCAL

EVALUATION OF COST AND BENEFIT OF THE CONSTRUCTIVE SYSTEM OF SANDWICH PANELS, WITH CORE OF PET BOTTLES, MOLDED IN PLACE

Georgeo Dias Fernandes* E-mail: georgeodf@hotmail.com
Tatiana Gondim do Amaral* E-mail: tatiana_amaral@hotmail.com
Daniel de Lima Araújo* E-mail: dlaraujo@ufg.br
* Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO, Brasil

Resumo: Os métodos construtivos tradicionais possuem baixa produtividade, baixa padronização e altos índices de desperdícios e retrabalhos. Em virtude dos problemas destacados e levando em conta aspectos ambientais, novos sistemas construtivos, que empregam materiais reutilizáveis ou recicláveis de outras indústrias, têm sido desenvolvidos. O presente artigo teve como objetivo avaliar o custo e o benefício do sistema construtivo painéis sanduíche, moldados no local, reutilizando garrafas de politereftalato de etileno (PET) para compor o núcleo das paredes e lajes. No aspecto econômico, fez-se um comparativo entre o sistema construtivo em alvenaria estrutural e o sistema estudado. Foi analisado o custo direto e observaram-se os benefícios relacionados aos atributos de valor para opções pré-fabricadas de construção, utilizando-se como referencial teórico a lista de significativos atributos de valor que podem ser vinculados ao emprego de pré-fabricados na construção proposta por Cook. Investigaram-se etapas, atividades, produtividade e recursos necessários para executar um projeto no sistema construtivo em alvenaria estrutural e no sistema construtivo analisado. Foi delineado o mapeamento dos processos, no qual se podem identificar os possíveis benefícios do sistema construtivo. O estudo do custo e benefício demonstrou a relevância técnico-econômica do sistema construtivo investigado, nem tanto em função do custo direto, mas em função dos benefícios de gestão do sistema construtivo.

Palavras-chave: Garrafas de politereftalato de etileno (PET). Construção enxuta. Atributos de valor. Sistema construtivo inovador.

Abstract: Traditional construction methods have low levels of productivity and standardization, and high levels of waste and rework. Due to these problems and taking into consideration environmental aspects, innovative construction systems, which employ reusable or recyclable materials from other industries, are here analyzed aiming to verify their suitability regarding technical-economic aspects. The objective of the present study was to assess the cost and benefit of the construction system using sandwich panel, molded in place, reusing polyethylene terephthalate (PET) bottles to produce the core of walls and slabs. Regarding the economic aspect, the construction system using masonry structure and the studied system were compared. The direct cost was analyzed and the benefits related to value attributes were observed for options of prefabricated construction, using as theoretical reference the list of significant value attributes that may be connected to the use of prefabricated items in constructions proposed by Cook. Stages, activities, productivity, and resources needed to carry out a project employing the construction system using masonry structure and the studied system were investigated. A process mapping was designed in which the potential benefits of the construction system can be identified. The study of cost and benefit demonstrated the technical-economic relevance of the construction system investigated, not much due to the direct cost, but because of the benefits of the construction system management.

Keywords: Polyethylene terephthalate (PET) bottles. Lean construction. Value attributes. Innovative construction system.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas construtivos inovadores são criados para garantir a industrialização, racionalização e desenvolvimento tecnológico ao setor. Contudo, Souza e Sabbatini (2004) ressaltam que apesar da expectativa do mercado, existe uma incerteza quanto à eficácia dessas inovações tecnológicas.

A influência em adotar processos, serviço ou produtos inovadores por parte das empresas da construção civil, especialmente no setor de edificações, ocorre quando algumas características são observadas, tais como: vantagem relativa perante o procedimento tradicional, condições de observar a inovação em uso, complexidade, compatibilidade e experimentação (FRANCKLIN JÚNIOR e AMARAL; 2008).

Um sistema construtivo inovador deve comprovar eficiência e economia. E ao mesmo tempo preocupar-se com a geração de resíduos e sobre os impactos ambientais causados em seu processo produtivo. A reutilização e a reciclagem de resíduos tornam-se fatores importantes a serem considerados em aprimoramentos tecnológicos e propostas construtivas mais sustentáveis para edificações. Tais aspectos normalmente são considerados quando o sistema construtivo é desenvolvido baseado no conceito de projeto para o ambiente (PPA), também chamado de eco-design, que nada mais é que um procedimento para orientar empresas a conceber produtos melhores em termos de minimização dos impactos ambientais, enquanto aumentam a competitividade e a inovação dos mesmos (CARPES JUNIOR, 2003).

Dados destacam a real necessidade de maiores investimentos no reaproveitamento de garrafas PET. Segundo o levantamento do 10º Censo da Reciclagem de PET - Brasil, organizado pela Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET), em 2015 o volume reciclado de PET foi de 274 mil toneladas e o índice de reciclagem foi de 51% (ABIPET, 2016). Além disso, algumas questões básicas devem ser resolvidas para ocorrer o desenvolvimento da reciclagem de plásticos no Brasil, tais como: maior incentivo fiscal para o uso do plástico reciclado, melhoria do gerenciamento do lixo que permita um fornecimento regular da matéria

prima para reciclagem, melhoria da qualidade da matéria prima fornecida por catadores e sucateiros, e melhoria da tecnologia de reciclagem para redução, por exemplo, de gastos com energia e água no processo de reciclagem (KIPPER, MÄHLMANN e RODRÍGUEZ, 2009)

Nesse sentido, o uso de garrafas PET no sistema construtivo proposto nesse trabalho possui o potencial de reaproveitar cerca de 128 garrafas por metro quadrado, sem maiores necessidades de tratamento da matéria prima, a não ser a limpeza das garrafas PET. Ao se considerar que em um prédio habitacional de padrão médio há, hipoteticamente, em torno de trezentos metros quadrados de paredes de vedação, então por pavimento seria possível reaproveitar 38.400 unidades de garrafas PET. Ao se fazer uma projeção para a sua utilização em dez pavimentos seriam 384.000 unidades de garrafas PET reaproveitadas.

Diante dos processos executivos tradicionais usualmente empregados na construção civil, pode-se enfatizar que o sistema construtivo em análise tem características diferentes das já validadas tecnicamente, justificando um estudo aprofundado por apresentar características de racionalidade e industrialização, simplicidade e ao mesmo tempo ser finalizado no próprio local da edificação, minimizando os problemas relacionados à transporte, desperdícios de materiais e padronização do processo.

1.1 Custo e benefício de valor do pré-fabricado

A avaliação de custo e de benefício de valor atribuídos a um processo construtivo contribui na análise na tomada de decisão por sua utilização.

Defensores da pré-fabricação destacam que a comparação de custo baseado somente nos custos de mão de obra e materiais ignoram outros benefícios de valor. Frequentemente, este tipo de avaliação conduz a custos iguais ou menores para construções tradicionais comparados ao pré-fabricado (ATILÓN; MORRIS; GREGOR, 2013).

Blismas, Pasquire e Gibb (2007) argumentam que os métodos comuns de avaliação, que levam em conta simplesmente os custos de material, mão de obra e transportes, desconsideram outros custos relacionados a facilidades na fase de

construção, tais como saúde, segurança e efeitos sobre a administração e gerenciamento.

Legmpelos (2013) menciona que a exclusiva análise de custos diretos direciona as construtoras a descartarem a solução pré-fabricada, entretanto comete-se um equívoco ao não considerar os fatores de custos indiretos das construções no local da obra. Ele ressalta que estes custos indiretos são de difícil identificação e são consequência de efeitos negativos de campo. O autor cita quatro amplas áreas onde os efeitos negativos podem ocorrer com maior intensidade considerando a fonte de custos indiretos, que são: coordenação, segurança, aquisição de material, exigências e demandas da mão de obra. No Quadro 1 são apresentados os potenciais benefícios e as possíveis desvantagens que o pré-fabricado apresenta.

Quadro 1 – Potenciais vantagens e desvantagens do sistema pré-fabricado

VANTAGENS	DESvantagens
Tecnologias de manufatura aplicadas no pátio fabril, resultando em economia de escala com o incremento da repetição de atividades e conhecimento específico das tarefas por parte dos trabalhadores, com melhorias continuadas e mais eficiência ao longo do tempo	Inflexibilidade de projeto, pois precisa necessariamente ser finalizado mais cedo e não pode ser alterado, porém isto pode se transformar em um benefício, já que os maiores problemas na construção são decorrentes das mudanças e desvios de projeto
Redução de resíduos sólidos com o aperfeiçoamento dos processos	Maior gasto inicial devido o pré-fabricado ser contratado nos estágios iniciais dos trabalhos
Aceleração das etapas e o encurtamento dos cronogramas da construção	Monotonia estética caso exista pouca flexibilidade de concepção possível para o pré-fabricado selecionado
Possível redução de custos, dependendo do seu preço ofertado	Planejamento de espaços para locomoção e estratégias de içamento depende dos componentes pré-fabricados
Maior qualidade do produto final (obra)	
Ambiente mais seguro, maior controle das condições de trabalho, implicando em menor perigo de acidentes	
Facilidade em atrair e treinar mão de obra e consequentemente menor custo trabalhista	
Melhor supervisão	

Fonte: Adaptado pelo autor de LEGMPELOS (2013)

Cook (2013) elaborou uma lista de atributos de valor que podem ser vinculados ao emprego de pré-fabricados na construção, os quais podem ser utilizados para a tomada de decisão e a correspondente expectativa atribuída para pré-fabricação na construção. Esta lista está baseada nas pesquisas realizadas por Legmpelos (2013), na qual relacionou os componentes de valor relevantes à opção

da pré-fabricação na construção, além de desenvolver uma ferramenta para tomada de decisão por meio da metodologia *Choosing by Advantages* (CBA).

No Quadro 2 está reproduzida a lista de atributos de valor e sua expectativa relacionada ao uso do pré-fabricado.

Quadro 2 - Atributos de valor vinculado à expectativa do uso do pré-fabricado

ATRIBUTOS DE VALOR	EXPECTATIVA RELACIONADA AO PRÉ-FABRICADO
Custo (material e mão de obra)	Neutro ou menor
Tempo (cronograma)	Comprimido
Flexibilidade de Projeto	Dificuldade em fazer mudanças
Tempo c/ coordenação (gerenciamento)	Reduzido
Qualidade	Igual ou melhor
Carga e descarga de suplementos	Reduzido
Atividade de sub-contratada na obra	Reduzido
Segurança do trabalho	Favorecido
Ergometria	Melhorado
Condições climáticas	Menor influência e controle
Impacto ambiental	Reduzido
Certificação LEED	Prós e contras
Geração e disposição entulho	Reduzido
Relações públicas	Favorecido
<i>Marketing</i>	Favorecido
Manutenção (ciclo de vida)	Não analisado

Fonte: Adaptado pelo autor de COOK (2013)

A análise de atributos de valor para um processo ou sistema pode direcionar a avaliação de benefícios direcionando a uma tomada de decisão em favor de um sistema inovador utilizado na indústria da construção.

2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é analisar o custo direto do sistema construtivo de painéis sanduíche, com núcleo de garrafas PET, moldados no local com o sistema em alvenaria estrutural, e ainda comparar os benefícios que cada sistema proporciona em termos de gestão, empregando-se critérios relacionados aos estabelecidos por Cook (2013) para sistemas construtivos pré-fabricados.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Com relação à abordagem, a pesquisa se classifica como quantitativa por analisar os resultados numéricos provenientes do custo de um sistema construtivo

que reaproveita garrafas PET. É considerada também como qualitativa por apresentar significados, sentidos, resultados e interpretações teóricas a partir dos critérios relacionados aos estabelecidos por Cook (2013).

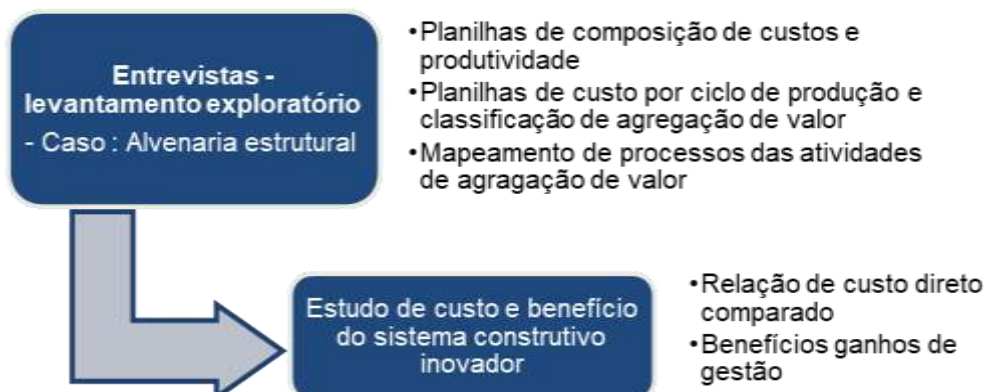
Quanto à natureza, a pesquisa é aplicada pois tem como um dos objetivos principais a produção de conhecimento a ser utilizado na construção civil e sugerir mudanças nas práticas das empresas construtoras.

Com relação aos objetivos e procedimentos, a pesquisa é classificada como exploratória.

3.2 Delineamento da pesquisa

Na Figura 1 é apresentado o fluxograma utilizado nas etapas da pesquisa.

Figura 1 – Fluxograma das etapas da pesquisa



3.3 Levantamento de dados

Por meio de questionários e entrevistas abertas com profissionais engenheiros orçamentistas e especialistas, traçou-se a análise econômica e de gestão do sistema construtivo inovador para comparar com o sistema tradicional de alvenaria estrutural.

Buscou-se conceitos estabelecidos para sistemas construtivos pré-fabricados e também conceitos de custo benefício para justificar a análise econômica e seus atributos de qualidade e produtividade.

Com o intuito de avaliar possíveis vantagens econômicas do sistema construtivo inovador em comparação aos sistemas tradicionais de construção, fez-se um estudo do custo direto entre os dois sistemas e benefício de gestão, utilizando os atributos de valor para avaliação definido por Cook (2013). Os atributos de valor utilizados são: custo direto (material e mão de obra), tempo (cronograma), flexibilidade de projeto, tempo de administração de obra, qualidade, entregas e conferência em obra, atividades de subempreiteiros em obra, segurança do trabalho, ergometria, condições de saúde, impacto ambiental, certificação LEED, entulho e dispensação, relações públicas, *marketing*, manutenção (ciclo de vida).

O estudo do custo direto e benefício de gestão foram levantados utilizando-se de planilha orçamentária de composição de custos e produtividade (Tabela 1), criada especificamente para expressar as etapas, atividades e componentes usados nos processos, preços de insumos e suas relações.

As planilhas foram elaboradas para caso hipotético, isto é, situação construtiva tomada por exemplo ou por estudo de caso, e que não está vinculada a uma situação real. O caso hipotético foi de uma obra residencial de dois pavimentos, com 60 metros quadrados de área construída, em padrão médio e com paredes estruturais.

Tabela 1 - Planilha de composição de custos e produtividade

PLANILHA DE COMPOSIÇÕES DE CUSTOS E PRODUTIVIDADE (SISTEMA ESTUDADO)							
CASO: Alvenaria estrutural				Parâmetro medição (m ²):		Parâmetro medição (m ²):	
ETAPA	ATIVIDADE	UNID.	QUANTIDADE	COMPONENTES	CONSUMO	CONSUMO	UNID. CUSTO

Estudou-se o fluxo do processo depois de estabelecer o ciclo de produção a ser medido. O ciclo de produção foi aqui definido como sendo o conjunto de eventos que efetivamente participa da composição dos casos estudados.

O fluxo do processo de execução caracteriza-se em identificar as seguintes condições:

- I. Atividades que agregam e não agregam valor;
- II. Sequência lógica do processo e a produção em função do tempo;

III. Identificar a maior chance de variabilidade entre atividades. Destaca-se que para cada início de atividade deve-se caracterizar sete pré-condições, que são: informação, materiais, equipamentos, mão de obra, estação de trabalho, serviços preliminares e condições externas;

IV. Analisar o Fluxo de Valor.

A rotina para obtenção do fluxo do serviço foi a seguinte:

- Definição do ciclo de produção a ser avaliado;
- Definição dos eventos, isoladamente, com relação ao conjunto;
- Definição dos eventos a serem estudados em tantas partes quantas forem necessárias;
- Observação do início e o término de cada subitem;
- Identificação da ordem e a sequência do fluxo, de modo que possa haver plena interligação entre os eventos consecutivos;
- Determinação para cada atividade dos seus índices de consumo.

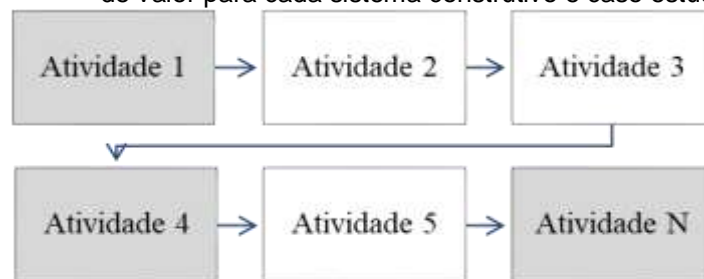
A Tabela 2 exibe a planilha de custo por ciclo de produção e classificação de agregação de valor, que propiciou a elaboração do mapeamento de processo das atividades de agregação de valor para cada sistema construtivo e caso estudado.

Tabela 2 - Planilha de custo por ciclo de produção e classificação de agregação de valor

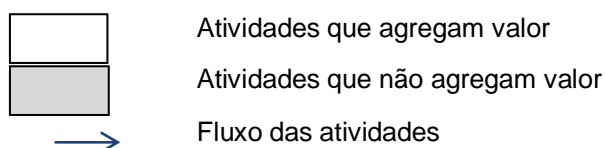
PLANILHA DE CUSTO POR CICLO DE PRODUÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE AGREGAÇÃO DE VALOR (SISTEMA ESTUDADO)							
CASO: Alvenaria estrutural							
ETAPA	ATIVIDADE	UNIDADE	QUANTIDADE	COMPONENTES	CUSTO	CUSTO POR ETAPA	AGREGA OU NÃO AGREGA VALOR

Foi ainda realizado o mapeamento de processo das atividades de agregação de valor realizado para o Sistema Construtivo em Alvenaria Estrutural (paredes e lajes estruturais em um sobrado com 60 metros quadrados de área construída) e para o sistema construtivo inovador (paredes de vedação em prédios de múltiplos andares padrão médio), como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor para cada sistema construtivo e caso estudado



Legenda:



Para se estabelecer as relações de custo direto e benefícios de gestão entre o sistema construtivo em alvenaria estrutural e o sistema construtivo estudado, foram utilizados os dados de: somatório dos custos totais, custo por m² de alvenaria de vedação e de paredes e lajes estruturais, somatório horas-homem e custo total horas-homem.

O levantamento dos dados para a elaboração das planilhas orçamentárias para o sistema tradicional se deu através de consultas presenciais com engenheiros orçamentistas e especialistas com experiência no sistema construtivo de alvenaria de vedação e também de alvenaria estrutural. Um questionário foi elaborado para servir de base para uma discussão entre os engenheiros, aplicado por meio de entrevista presencial, com o intuito de aprofundar as relações existentes entre eventos, etapas, atividades, produção (homens hora por tempo de execução de cada serviço), estudo dos fluxos, interferências, perdas e recursos para se executar paredes e lajes.

O questionário foi elaborado por perguntas abertas, em que os entrevistados (engenheiro orçamentista e especialistas) poderiam discorrer os acontecimentos, relatar procedimentos, apontar ressalvas, enfatizar desafios na construção de paredes e lajes no sistema tradicional e, mais precisamente, fornecer os índices de produtividade e custos para a composição das atividades identificadas. Com isso, pôde-se elaborar as tabelas de composição de custos e produtividade.

As perguntas aplicadas nas entrevistas foram as seguintes: 1) Quais são as etapas construtivas para executar as paredes de vedação do décimo pavimento? 2)

Quais as atividades que fazem parte de cada etapa? 3) Quanto tempo leva cada atividade? 4) Quais são os recursos necessários para cada atividade? 5) Qual é a sequência das etapas? 6) Quais outras etapas necessárias para que o serviço de execução das paredes de vedação seja feito, e em que momento ocorrem? 7) Quais são os índices de produtividade e custos para a composição das atividades identificadas? 8) Quais são os preços dos insumos atualmente praticados?

3.4 Caracterização do sistema construtivo inovador (patente BR2020120072772)

Inicialmente, apresentam-se as características do sistema construtivo investigado. Esta descrição está baseada no relatório de patente desse sistema construtivo (PEDIDO DE PATENTE BR2020120072772, 2012). Ele propõe como solução técnica construtiva paredes e lajes auto-portantes constituídas de uma alma oca, aqui denominada Painel PET, utilizando-se para tanto material reaproveitado (Politereftalato de etileno garrafas PET – garrafas PET).

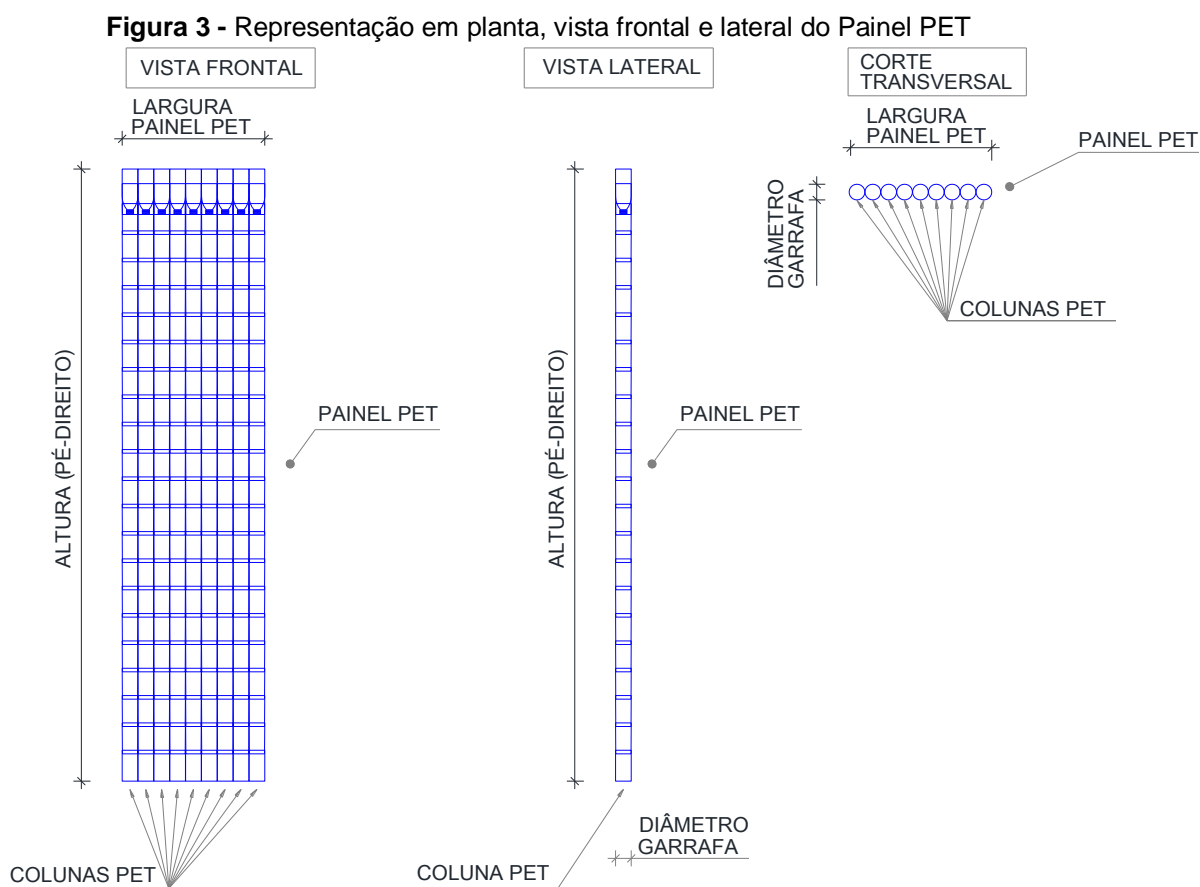
Os Painéis PET são manufacturados em fábrica, transportados, montados, fixados na obra e moldados *in loco*, ou seja, no próprio local da edificação. O sistema é monolítico porque todos os elementos, paredes e lajes, são interligados e envolvidos simultaneamente em argamassa armada e concreto armado, formando uma única estrutura auto-portante. É considerado auto-portante por não necessitar de uma estrutura auxiliar de sustentação, pois os elementos por si só são estruturais.

Tem como aplicação edificações residenciais, de caráter social ou não, edificações comerciais, ou paredes para simples vedação, internas e externas, a serem executadas em construções de estrutura convencional de concreto armado ou metálica. As edificações podem ser térreas e sobrados na solução auto-portante, ou de vários pavimentos para o caso de paredes de vedação em estruturas convencionais, mudando somente especificações de cálculo e critérios executivos específicos do sistema.

O sistema construtivo é caracterizado por se conformar em três camadas: duas faces externas rígidas e resistentes em argamassa armada para Paredes, ou concreto armado na face superior e argamassa armada na face inferior para Lajes, intercaladas por um painel feito de garrafas PET de muito baixa densidade.

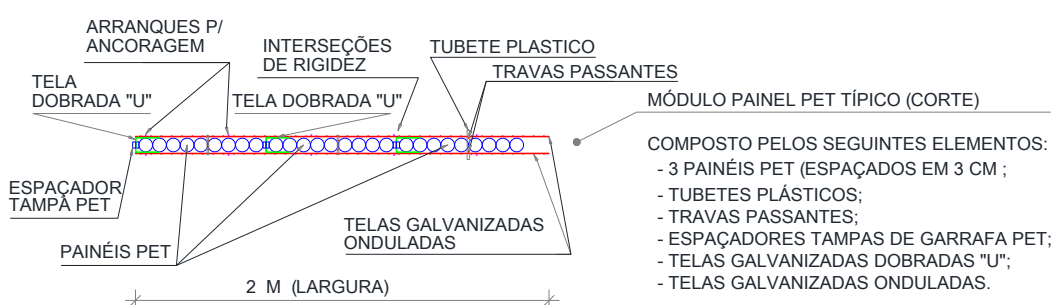
O início do processo se dá com a coleta do material a ser reutilizado (garrafas PET) e seu armazenamento em local fixo (fábrica) destinado para tal finalidade, onde é industrializado todo o processo de produção. Os procedimentos de confecção dos Módulos Painéis PET são realizados em uma Central de Processamento (fábrica), podendo assim ser classificados como sendo elementos pré-fabricados.

A produção propriamente dita começa com a preparação e montagem das colunas formadas por garrafas PET acopladas umas dentro das outras em linha (Colunas PET). As Colunas PET são conectadas entre si para formarem os Painéis PET. A Figura 3 apresenta em planta, vista frontal e vista lateral o Painel PET formado por nove Colunas Garrafas PET acopladas e interconectadas umas nas outras por meio de ilhoses, adquirindo uma largura de aproximadamente 60 cm, espessura de aproximadamente 6,6 cm e altura regulável conforme o pé-direito do projeto de arquitetura.



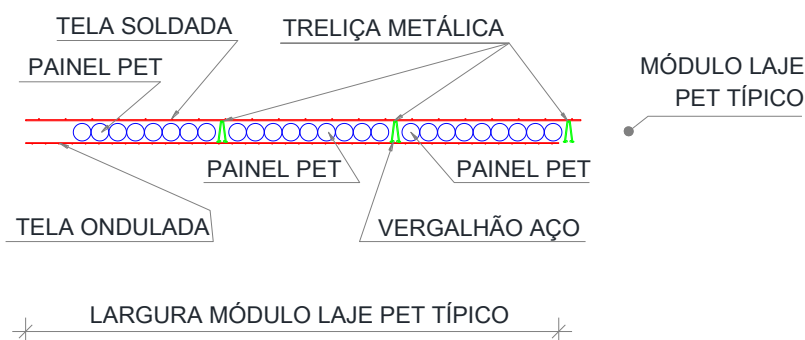
Estes Painéis PET são colocados lado a lado e distanciados em 3 cm uns dos outros por espaçadores feitos das próprias tampas das garrafas PET. Os Painéis PET são envolvidos e atados às telas galvanizadas, por meio de amarrações de arames, constituindo os Módulos Painéis PET. O conjunto de Módulos PET é montado de acordo com as medidas da parede do projeto de arquitetura, constituindo o que pode ser chamado de Pré-Paredes PET. Na Figura 4 é mostrado o Módulo Painel PET Típico em corte horizontal.

Figura 4 - Módulo Painel PET Típico em corte horizontal e todos os elementos que o compõem



Uma variação do Módulo Painel PET é o Módulo Laje PET. As armações estruturantes para os Módulos Painéis PET são: as telas galvanizadas soldadas dobradas em forma de "U" e as telas galvanizadas onduladas. Já para os Módulos Lajes PET, a armadura é composta de treliças metálicas em aço CA-60 e vergalhões de aço também em aço CA-60 para as nervuras; telas soldadas em aço CA-60 para a mesa; e telas galvanizadas onduladas, que são utilizadas na face inferior da Laje PET. Do mesmo modo que as Pré-Paredes PET, o conjunto de Módulos Lajes PET pode ser montado para formar uma única laje entre paredes, constituindo a Pré-Laje PET. Na Figura 5 é mostrado o Módulo Laje PET Típico em corte transversal.

Figura 5 - Módulo Laje PET Típico em corte transversal e todos os elementos que o compõem

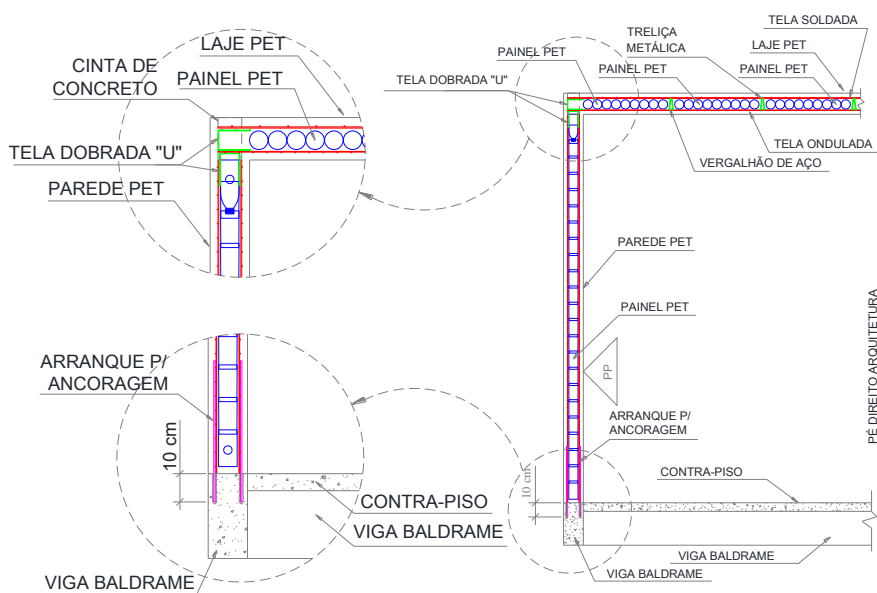


As Pré-Paredes PET e Pré-Lajes PET são transportadas até o canteiro de obras e posicionadas no local de execução das paredes e lajes, apuradas e fixadas. Elas são então revestidas por Argamassa Estruturante nas Paredes PET e parte inferior das Lajes PET, a qual também recebe o concreto na mesa e nas suas nervuras treliçadas, preenchendo inclusive as cintas sobre as paredes.

A argamassa estruturante pode ser projetada ou mesmo lançada manualmente e é executada com a finalidade construtiva de sustentação e também de acabamento e revestimento das paredes e teto.

A Figura 6 apresenta um corte genérico mostrando o encontro entre a Parede PET e a Laje PET. Neste encontro é criada a Cinta de Concreto para enrijecer e distribuir melhor as cargas das nervuras treliçadas da Laje PET. Mostra, também, o Arranque para Ancoragem, onde vincula a Parede PET ao suporte inferior, ou seja, a viga baldrame.

Figura 6 - Corte genérico do encontro Parede PET e Laje PET



Toda tubulação hidro sanitária e elétrica, entre outras, com diâmetro até 60 mm, podem ser alojadas entre os Painéis PET e a Tela Galvanizada Ondulada. Tubulações superiores a este diâmetro devem ser alojadas em *shafts* ou requadros criados em projeto para tal finalidade.

A espessura da Parede PET de 14 cm é a espessura final resultante após a aplicação da camada de Argamassa Estruturante sobre os Módulos Painéis PET.

Após este procedimento, as Paredes PET estão prontas para receberem a complementação de acabamento, podendo ser pintura ou revestimento.

4 ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO

A análise da viabilidade econômica do sistema construtivo está baseada na análise de custo direto de material e mão de obra e benefícios extraídos dos resultados observados das planilhas de composição de custo e produtividade baseados nos parâmetros de valor.

4.1 Análise do custo direto de material e mão de obra

As planilhas de composição de custo e produtividade elaboradas foram relacionadas ao metro quadrado de paredes e lajes, ou seja, todos os quantitativos estão vinculados e estimados em função do metro quadrado de parede, do metro quadrado de laje ou piso, da altura de parede e altura piso a piso. Portanto, funcionam para padrões usuais e para habitações comuns com menor arrojo arquitetônico.

4.1.1 Paredes e lajes estruturais - relação custo direto comparado

Os dados para o caso hipotético utilizados na formulação das planilhas de custo e produtividade aqui desenvolvidas foram extraídos do estudo "Orçamento Básico para Análise de Viabilidade de Empreendimentos", aplicado a uma edificação de dois pavimentos com 60 metros quadrados de área construída (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2015).

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os resultados de custos e produtividade do sistema construtivo em alvenaria estrutural e do sistema construtivo inovador auto-portante monolítico estrutural de paredes e lajes para o caso hipotético citado no parágrafo anterior.

Tabela 3 - Resultado de custos e produtividade do sistema tradicional em alvenaria estrutural

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo Alvenaria Estrutural)	
Somatório dos custos totais	R\$ 40.845,84
Custo por m ² de parede	R\$ 119,45
Custo por m ² construído	R\$ 680,76
Somatório horas-homem (horas)	1.361
Custo total horas-homem	R\$ 20.932,32

Tabela 4 - Resultado de custos e produtividade do sistema construtivo inovador para paredes e lajes auto-portantes monolíticas estruturais

Resultado custos e produtividade (Sistema Construtivo de Painéis Sanduíche, com Núcleo de Garrafas PET, Moldados no Local)	
Somatório dos custos totais	R\$ 46.899,79
Custo por m ² de parede	R\$ 170,43
Custo por m ² construído	R\$ 781,66
Somatório horas-homem (horas)	1.132
Custo total horas-homem	R\$ 15.570,69

Na Tabela 5 é expressa a relação entre os sistemas em termos de resultados de custos e produtividade do sistema tradicional em alvenaria estrutural e do sistema construtivo inovador para paredes e lajes auto-portantes.

Tabela 5 - Custos e produtividade do sistema tradicional em alvenaria estrutural e do sistema construtivo inovador para paredes e lajes auto-portantes

Relação (%) entre sistemas construtivos: Painéis Sanduíche, com Núcleo Garrafas PET, Moldados no Local e Alvenaria Estrutural	
Relação entre os custos totais	115%
Relação entre os custos por m ² de parede	143%
Relação entre os custos por m ² construído	115%
Relação somatório horas-homem	83%
Relação custo total horas-homem	74%

Interpretando os resultados da relação entre os sistemas em termos de resultados de custos e produtividade para um sobrado (caso hipotético utilizado) com 60 metros quadrados de área construída, padrão médio, tem-se que:

- O custo total do sistema construtivo inovador é 15% maior que no sistema construtivo de alvenaria estrutural;
- O custo por metro quadrado de parede do sistema construtivo inovador é 43% maior que no sistema de alvenaria estrutural;
- A quantidade de horas-homem do sistema construtivo inovador corresponde a 83% do sistema em alvenaria estrutural, ou seja, requer

17% menos horas-homem para executar a mesma metragem quadrada construída;

- O custo de horas-homem do sistema construtivo inovador equivale a 74% do sistema em alvenaria estrutural, ou seja, é 26% mais em conta em termos de custo de horas-homem.

Levando-se em conta que a probabilidade de variabilidade de custo seja maior no atributo horas-homem, conclui-se que existe maior chance de incremento de custo neste item. Portanto, é favorável ter um sistema construtivo que apresente uma porcentagem menor da variável horas-homem, justificando a questão da pré-fabricação, ou que tenha ao menos uma parcela significativa de elementos pré-fabricados, restando apenas serem finalizados no local.

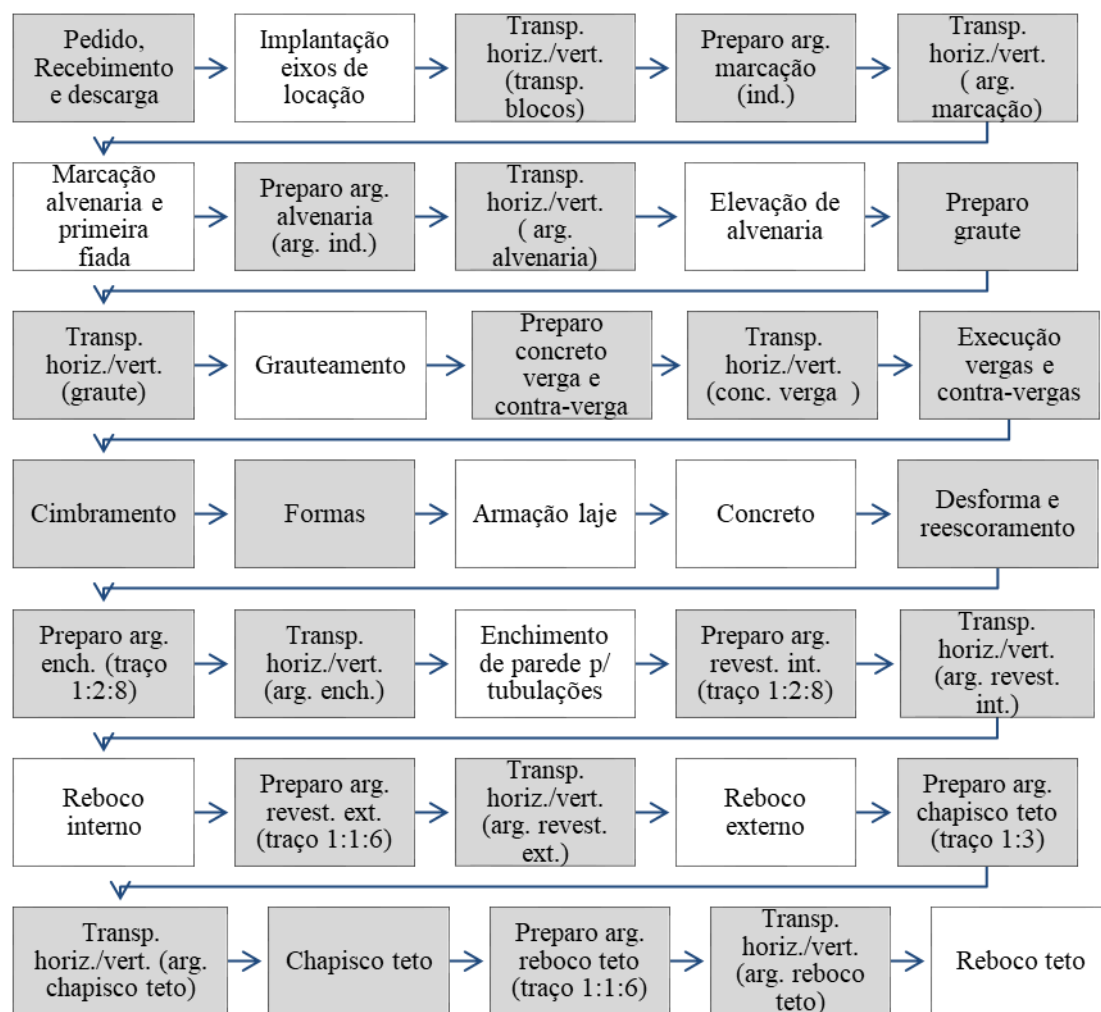
4.2 Avaliação quanto aos benefícios em ganhos de gestão

Nas Figuras 7 e 8 é apresentado o mapeamento de processo das atividades de agregação de valor para os sistemas estudados referente a execução de paredes e lajes estruturais para um sobrado de 60 m² de área construída.

Ao se analisar os mapeamentos de processos percebe-se que a quantidade de atividades totais é em maior número no sistema construtivo em alvenaria estrutural que no sistema construtivo inovador. Pode-se perceber, também, que as atividades que não agregam valor podem ser identificadas em maior número no sistema construtivo em alvenaria estrutural.

Na Tabela 6 estão apresentadas as quantidades de atividades totais, das que agregam valor e das que não agregam valor, para cada sistema construtivo avaliado, além da relação desses quantitativos.

Figura 7 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (Sistema Construtivo Alvenaria Estrutural - paredes e lajes estruturais sobrado com 60m²)



Legenda:

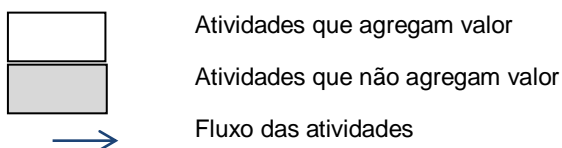


Figura 8 - Mapeamento de processo das atividades de agregação de valor (sistema construtivo inovador - paredes de vedação em prédios de múltiplos andares padrão médio)

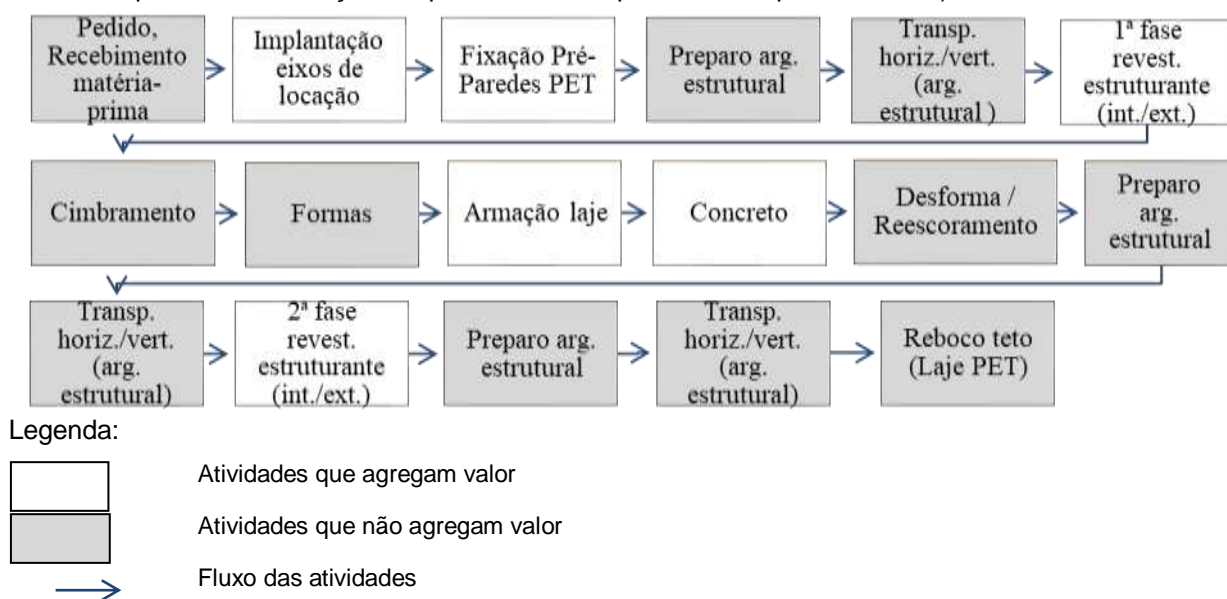


Tabela 6 - Planilha relação entre quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para os sistemas construtivos avaliados - caso estudado: Sobrado com 60m² de área construída

RELAÇÃO (%) ENTRE QUANTIDADE DE ATIVIDADES QUE AGREGAM E NÃO AGREGAM VALOR PARA OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS AVALIADOS – CASO ESTUDADO: SOBRADO COM 60M² DE ÁREA CONSTRUÍDA				
	Quantidade de atividades	Atividades que agregam valor	Atividades que não agregam valor	Relação entre as que agregam valor e quantidade de atividades
Painéis Sanduíche, com Núcleo Garrafas PET	17	7	10	41%
Alvenaria Estrutural	35	10	25	29%
Relação entre os sistemas	49%	70%	40%	-

Interpretando os resultados da relação entre os sistemas em termos de quantidade de atividades que agregam e não agregam valor para um sobrado com 60 m² quadrados de área construída, padrão médio, conclui-se que:

- A quantidade de atividades total do sistema construtivo inovador é 49% da quantidade do sistema construtivo em alvenaria estrutural;
- A quantidade de atividades que agregam valor do sistema construtivo inovador é 70% da quantidade do sistema em alvenaria estrutural;
- A quantidade de atividades que não agregam valor do sistema construtivo inovador é 40% da quantidade do sistema em alvenaria estrutural;

- O sistema construtivo inovador apresenta uma relação maior entre atividades que agregam valor e o total de atividades (41%) em comparação ao sistema de alvenaria estrutural (29%);
- Em suma, o sistema construtivo inovador além de ter menos atividades do que sistema de alvenaria estrutural, tem menor quantidade de atividades que não agregam valor em relação às atividades que agregam valor em comparação.

As implicações do menor número de atividades totais e das atividades que não agregam valor no sistema construtivo inovador podem ser enumeradas como segue:

- Melhorias como redução de tempo de espera e aumento de flexibilidade e transparência;
- Diminuição de variabilidade causadas pelo processo de alimentação de suplementos ou insumos para a produção;
- Diminuição de *lead time*;
- Eliminar barreiras, movimentos, interrupções, lotes e filas.

4.3 Benefícios esperados para opção pré-fabricado, traçados por cook (2013)

De posse dos resultados de custos/produtividade e de benefícios em ganhos de gestão aqui estudados, tais como: custos diretos totais, custo por metro quadrado de paredes e de construção, horas-homem, custo horas-homem e número de atividades que agregam e não agregam valor entre os sistemas construtivos analisados, organizou-se a Tabela 7, na qual é apresentada a confirmação ou não das expectativas intuídas para a pré-fabricação em sistemas construtivos, catalogadas por Cook (2013) de acordo com os atributos de valor levantados.

Tabela 7 - Atributos de valor, confirmação e justificativa para o pré-fabricado

ATRIBUTO DE VALOR	RESULTADO	JUSTIFICATIVA
Custo (material e mão de obra)	Maior	Apesar do custo da mão de obra ser menor, o custo total foi maior devido ao valor elevado da Pré-Parede PET e maior consumo de materiais do revestimento estrutural.
Tempo (cronograma)	Comprimido	O cronograma é racionalizado, pois, exige-se menor número de horas-homem, conseqüentemente menos tempo de execução.
Flexibilidade de Projeto	Facilidade em fazer mudanças	O sistema construtivo não é modular e sim adaptado às medidas da arquitetura. Porém a arquitetura deve estar definida antes do início da produção para evitar retrabalho.
Tempo c/ coordenação (gerenciamento)	Reduzido	Devido ao menor número de atividades totais, além de maior porcentagem de atividades que agregam valor, facilitando a concentração de coordenação nestas atividades.
Qualidade	Melhor	Paredes e lajes que incorporam materiais de maior resistência, como é o caso das telas galvanizadas e da argamassa estrutural.
Carga e descarga de suplementos	Reduzido	Menor número de itens a serem adquiridos, fiscalizados, transportados, armazenados e manipulados.
Atividade de sub-contratada	Reduzido	A sub-contratação na obra é dispensada, já que todas as atividades do sistema podem ser realizadas por profissionais convencionais aos trabalhos de obra.
Segurança do trabalho	Favorecido	As Pré-Paredes são leves e monolíticas evitando pequenas partes que possam se desprender. O sistema favorece maior controle sobre o ambiente construtivo diminuindo a chance de acidentes.
Ergometria	Melhorado	Diminui o número de repetições de movimentos.
Condições climáticas	Menor influência e controle	Execução dos elementos pré-fabricados em pátio industrial protegido das intempéries, não sofrem influência das condições climáticas.
Impacto ambiental	Reduzido	O impacto ambiental é favorecido, pois existe o reaproveitamento das garrafas PET como elemento do sistema construtivo.
Certificação LEED	Não analisado	-
Geração e disposição entulho	Reduzido	A geração e disposição entulho é reduzida ou quase nula, já que não existe a necessidade de quebras, cortes, adaptações e perdas de material na obra.
Relações públicas	Favorecido	Grande apelo ecológico como o reaproveitamento de material pós-consumo de outras indústrias (garrafas PET), além do fator inovação.
Marketing	Favorecido	Principalmente em obras públicas, pois mostra o interesse dos governantes em reaproveitar as garrafas PET que poderiam degradar o meio ambiente ou sobrecarregar aterros sanitários.
Manutenção (ciclo de vida)	Não analisado	-

Fonte: Adaptado de COOK (2013)

Observa-se que o custo direto foi o único item que não teve confirmação em relação a expectativa intuitiva para o pré-fabricado formulada por Cook (2013). Entretanto, Legmpelos (2013) destaca que existem ainda os custos ocultos (*hidden costs*) que são difíceis de serem identificados e que estão vinculados aos efeitos de campo (*side effect*). Estes efeitos de campo nada mais são que consequências negativas de ações que a princípio tinham boas intenções, mas que na realidade não ocorreram conforme pensado.

Os efeitos negativos ocorrem com mais frequência quando todo o trabalho é produzido no canteiro de obra. Logo, a pré-fabricação do processo, ou pelo menos uma porção significativa de elementos pré-fabricados, possibilita a minimização dos efeitos de campo e conseqüentemente dos custos ocultos.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar o custo direto do sistema construtivo de painéis sanduíche, com núcleo de garrafas PET, em habitações de até dois pavimentos, verifica-se que este é 15% mais caro em termos absolutos e 43% maior em relação ao custo por metro quadrado de parede executada pelo sistema em alvenaria estrutural de bloco de concreto. Ou seja, quando se levanta o orçamento teórico, o custo do sistema construtivo de painéis sanduíche é mais oneroso que o sistema em alvenaria estrutural, mesmo requerendo menos horas-homem (17% menor).

Porém, ao comparar os benefícios que cada sistema proporciona em termos de gestão, segundo as disposições de atributos de valor estabelecidos por Cook (2013), o sistema construtivo de painéis sanduíche demonstra-se aprimorado em vários aspectos, tais como: a redução de atividades que não agregam valor, diminuição de homens-hora para a realização do serviço, diminuição do número de itens em estoque, diminuição de funcionários disponibilizados em canteiro, liberação dos elevadores de carga ou mesmo outros recursos destinados ao transporte de material para outros serviços da obra, redução do Lead Time, redução significativa na geração e disposição de entulho, melhor qualidade, redução do tempo de coordenação, e impacto ambiental.

Portanto, a escolha do sistema em painéis sanduíche como solução construtiva ampara-se mais em termos de gestão administrativa, ambiental, social e de tempo do que em termos econômicos.

REFERÊNCIAS

- ABIPET. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. **10º Censo da reciclagem de PET - Brasil ano 2012**. São Paulo, 2013b. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=7>>. Acesso em: 18 set. 2017.
- ANTILÓN, E. I.; MORRIS M. R.; GREGOR W. A value-based cost-benefit analysis of prefabrication processes in the healthcare sector: a case study. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., 2014, Oslo. **Proceedings...** Oslo: IGLC & Akademika Forlag, 2014. v. 1. p. 995-1006.
- BLISMAS, N.; PASQUIRE, C.; GIBB, A. Benefit evaluation for off-site production in construction. **Construction Management and Economics**, London, v. 24, no. 2, p. 121-130, 2006. <http://dx.doi.org/10.1080/01446190500184444>
- COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Orçamento básico para análise de viabilidade de empreendimentos**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjE8qSC6vrJAhXDFJAKHa40AcEQFggdMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.comunidadeconstrucao.com.br%2Fupload%2Fsistemas-construtivos%2Farquivos%2FAE-planilha-analise-viabilidade.xls&usq=AFQjCNEIjFgdB2AWnPYxvRFbkEPpYCFcUg>>. Acesso em: 7 nov. 2015.
- COOK, S. **A field study investigation of the time-value component of stick-built vs. prefabricated hospital bathrooms**. 2013. Thesis (Master's in Construction Management)–Wentworth Institute of Technology, Boston, 2013.
- FRANCKLIN JÚNIOR, I; AMARAL, T. G. Inovação tecnológica e modernização na indústria da construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2008.
- JÚNIOR, WIDOMAR PEREIRA CARPES. **Projeto para o ambiente: diminuindo o impacto dos produtos sobre a natureza**. Revista Produção On-line. Vol. 3/ Num. 2/ Junho de 2003. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v3i2.621>
- KIPPER, LIANE MÄHLMANN; MÄHLMANN, CLÁUDIA MENDES; RODRÍGUEZ, ADRIANE LAWISCH. **Ações estratégicas sistêmicas visando à integração da cadeia produtiva e de reciclagem de plásticos**. Revista Produção On-line. Vol. IX/ Num.IV/ 2009. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v9i4.348>
- LEGMPELOS, N. **On-site construction versus prefabrication**. 2013. 117 f. Thesis (Master's in Civil and Environmental Engineering)–Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2013.

PEDIDO DE PATENTE BR2020120072772. **Sistema construtivo de paredes e lajes estruturais alveolares em argamassa armada monolítica moldada in loco utilizando material reciclado.** Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Brasília, DF, 2012.

SOUZA, J. C. S.; SABBATINI, F. H. **Metodologia de análise e seleção de inovações tecnológicas na construção de edifícios.** São Paulo: EPUSP, 2004. 22 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/370).



Artigo recebido em 11/12/2016 e aceito para publicação em 15/11/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v17i4.2646>