Sistema Pré-Fabricado em Pré-Moldado de Concreto para Instalações Provisórias de Canteiros de Obra

Nery Knöner

Fernando Menezes de Almeida Filho

Marcelo de Araújo Ferreira

1. Introdução

No Brasil, nas últimas décadas, houve um aumento significativo no uso de estruturas pré-fabricadas em concreto em virtude do desenvolvimento dos componentes e da facilidade de utilização desse sistema para obras comerciais, residenciais e esportivas, agregando vantagens, como rapidez e facilidade de execução, redução de desperdícios e segurança na montagem.

O sistema em pré-moldados de concreto proporciona uma construção limpa, racional e com menos desperdício de materiais, além de possibilitar maior conforto e bem-estar aos seus ocupantes. Como estratégia de concepção, procura utilizar componentes e processos padronizados, bem como aproveitar mais eficientemente os recursos disponíveis. Para Van Acker (2002), com os pré-moldados de concreto é possível atender os requisitos de industrialização, mesmo sem a produção em escala, obtendo um processo de produção eficiente, combinado com o trabalho especializado e a padronização de soluções construtivas.

Segundo Serra et al. (2005), a industrialização da construção civil, por meio da utilização de peças de concreto pré-fabricados, promoveu, no Brasil e no mundo, um salto de segurança e organização nos canteiros de obras, devido ao uso de componentes industrializados com alto controle de produção, com materiais de qualidade, fornecedores selecionados e mão de obra qualificada.

A construção em elementos pré-fabricados em concreto não se limita apenas a fabricar peças fora do canteiro, mas engloba todo um sistema construtivo com características próprias, que devem ser preconizadas desde o início do projeto do empreendimento (FIB, 2012). Visto que o concreto possui boa inércia térmica e resistência ao fogo, os componentes gerados, como as paredes, podem ser projetados para atender determinadas especificidades, como reduzir os ruídos, devido à sua densidade.

Para Knöner (2014), o uso dos pré-moldados possui potencial de aplicação para instalações provisórias em canteiros de obra, considerando inclusive a necessidade da desmontagem e reutilização dos componentes em diferentes obras, além das outras vantagens levantadas. Para esse autor, a desmontagem com fins de remontagem é uma característica não comumente citada, mas deve ser considerada desde o início do processo de projeto.

Existem poucos fabricantes que fornecem opções de instalações provisórias em concreto pré-moldado no mercado brasileiro. Um deles é a empresa Prefacc (PREFACC, 1992) sediada em Uberlândia, Minas Gerais. Segundo o referido fabricante, trata-se de um sistema construtivo formado por placas de concreto celular autoclavado, com módulos de 0,60 m de largura, interligados por perfilados metálicos, que podem chegar até 3 m de altura. Entre os clientes da Prefacc, podem ser verificadas empresas de grande porte, consórcios e órgãos públicos.

Além deste tipo de instalações provisórias, são oferecidas pelo mercado diferentes soluções construtivas, como o uso de madeira ou de chapas metálicas (DIAS; SERRA, 2013), mas faltam dados para determinar o atendimento às condições de desempenho de cada solução.

Apesar da existência das soluções comerciais, no Brasil, a maioria das instalações provisórias dos canteiros de obras ainda é precária e não projetada com vistas ao seu melhor funcionamento. Considerada como uma instalação temporária, não se costuma seguir regras de projeto e de segurança, e somente em alguns casos, a NR-18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção (BRASIL, 2015), que preconiza condições mínimas de uso e segurança, é atendida.

Também não são comumente considerados os requisitos de uso e operação desses tipos de instalações, como resistência estrutural, desempenho térmico, estanqueidade à água, entre outros, os quais são prescritos pelas normas técnicas.

Dessa forma, este capítulo visa apresentar uma proposta de instalação provisória em pré-moldado de concreto para uso em canteiro de obra e, em seguida,

analisar os principais requisitos técnicos identificados para a concepção de um sistema construtivo. A proposta surge também no contexto de encontrar um sistema eficiente, de construção rápida, econômico, com redução significativa na produção de resíduos e que proporcione qualidade do ambiente de trabalho.

O sistema construtivo desenvolvido possibilita atender a demanda de mercado para construção de canteiros de obra de acordo com os quesitos da NR-18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção (BRASIL, 2015) e NBR 12.284 (ABNT, 1991). O sistema pré-fabricado atende aos requisitos de rapidez na montagem, eliminação de resíduo e baixo custo, além de utilizar um processo construtivo que pode ser reaproveitado várias vezes em outro canteiro.

2. Método de Pesquisa

O trabalho foi desenvolvido com base na pesquisa de mestrado de Knöner (2014) apoiada pela rede CANTECHIS/FINEP. A pesquisa tratou de um estudo teórico e experimental, dividido em três etapas:

- A primeira etapa consistiu no estudo sobre a utilização de diferentes sistemas construtivos para aplicação em instalações provisórias, buscando identificar as principais características necessárias para essas estruturas;
- A segunda etapa consistiu no desenvolvimento de um projeto de instalações provisórias em pré-moldado de concreto de forma a agregar vantagens técnicas, econômicas, sociais e ambientais;
- A terceira etapa consistiu na realização de simulações teóricas por meio de ensaios de laboratório e da determinação dos parâmetros técnicos necessários para desenvolvimento do produto.

A fase de montagem e desmontagem do protótipo não foi desenvolvida por Knöner (2014) devido à duração do mestrado ser inferior ao tempo necessário para a elaboração do produto. Este trabalho foca na apresentação sucinta das etapas 2 e 3, que podem ser melhor verificadas no trabalho original.

O Anexo apresenta momentos da montagem do protótipo ocorrida em 2017.

3. Sistema Proposto de Instalações Provisórias

O sistema de pré-moldado de um pavimento foi criado inicialmente com propósito da habitação social, visando proporcionar moradias para a classe de baixa renda, com características de simplicidade, rapidez na montagem, viabilidade econômica e resistência. O sistema inicial foi adaptado para obra de instalação provisória atendendo às necessidades de montagem e desmontagem futura dos componentes pré-moldados.

A Figura 1 mostra a planta da instalação provisória projetada para construção do protótipo, que se trata de um ambiente de escritório, formado por uma sala e um pequeno banheiro. A dimensão externa corresponde a 6 m de comprimento por 3,5 m de largura, com uma varanda de 1,5 m. O protótipo conta com as seguintes peças pré-moldadas de concreto:

- Montantes ou Pilares: seção 10 x 10 cm e altura 3,20 m;
- Placas: dimensões 50 x 100 cm e espessura 2,5 cm;
- Elemento de fundação (apoio para pilar): dimensões 25 x 25 cm e altura 12 cm.

Na planta baixa (Figura 1), percebe-se que as paredes são formadas por placas, colocadas externa e internamente fixadas aos pilares, dotadas de um vão entre elas, que se configura como uma câmara de ar. Esta solução beneficia também a resistência térmica e conforto acústico do sistema construtivo.

Figura 1 – Planta baixa do protótipo para instalações provisórias. Fonte: Knöner, 2014.

Na Figura 2, é possível observar as dimensões e a forma de fixação do pilar ou montante sobre o elemento de fundação. O concreto para enchimento da fundação pode ser magro, uma vez que o pilar poderá ser retirado e reutilizado.

- As paredes não precisam ser rebocadas, apenas pintadas. Deve-se utilizar massa de vedação entre as placas que compõem as paredes externas;
- Todos os pontos elétricos – caixa de passagem, interruptores, tomadas – são fixados no momento da concretagem das placas. Durante a montagem, as tubulações ficarão embutidas entre as placas. Outra solução possível é a concepção de instalações aparentes que poderão ser montadas após a finalização da estrutura do protótipo;
- Os pontos de água também foram concretados nas placas correspondentes. As tubulações hidráulicas de fornecimento de água potável também são fixadas durante a montagem e ficam entre as placas que compõem as paredes. Outra opção seria também o uso das instalações aparentes;
- Os batentes de porta e janelas encaixam-se entre os montantes e são de fácil colocação. Podem ser pré-moldados, metálicos ou de madeira. No caso estudado, optou-se por esquadrias metálicas para as janelas e madeira para as portas. As janelas devem ser encaixadas e simplesmente confinadas entre dois montantes, sendo necessária sua fixação durante a montagem do protótipo.

A Figura 3 mostra o Corte A-A da instalação provisória, podendo ser identificada a viga metálica de coroamento da estrutura de concreto pré-moldado e o uso previsto da telha termoacústica.

Figura 3 – Corte A-A do protótipo para instalações provisórias. Fonte: Knöner, 2014.

A Figura 4 mostra a perspectiva do protótipo de acordo com o projeto concebido.

Figura 4 – Perspectiva do protótipo para instalações provisórias. Fonte: Knöner, 2014.

A partir da concepção do produto, procedeu-se ao cálculo e simulação matemática dos componentes do protótipo. Em seguida, foram realizados os testes experimentais nos componentes de concreto pré-moldado – pilares e placas – para posterior liberação da produção necessária para montagem do protótipo. Os demais elementos do sistema não foram ensaiados, pois o foco da pesquisa foi a análise do sistema construtivo denominado “parede”.

4. Confecção das Peças de Concreto do Sistema “Parede”

As peças de concreto que compõem o fechamento das paredes da obra foram produzidas em concreto convencional, conforme descrito a seguir.

4.1 Placas de Concreto

Constituídas por concreto, cimento, areia, brita zero e tela com malha de 1-1/2", diâmetro médio 0,66 mm, $f_{yk} = 320$ MPa, concreto de resistência característica $f_{ck} = 20$ MPa, com as dimensões de 1,0m × 0,50m × 2,5cm e peso médio de 30 kg por placa. Para confecção das placas, foi concebida a forma metálica mostrada na Figura 5. Deve ser passado um desmoldante que facilite a desforma da placa. A peça é concretada, vibrada e posta rigorosamente em nível, garantindo uma boa modelagem e cura.

Figura 5 – Vista da forma metálica para confecção das placas de concreto pré-moldado. Fonte: Knöner, 2014.

Após 12 h da concretagem, a placa pode ser desmoldada e permanecer curando. As formas metálicas podem ser liberadas para concretagem da próxima placa.

4.2 Montantes ou Pilares

Para fabricação dos montantes, também se utilizou de uma forma metálica, de desmoldante e colocação de armaduras. A Figura 6 mostra a forma metálica do montante e a armadura do pilar posicionada ao lado. Foi dimensionado o uso de 4 ferros de diâmetro de 6,3 mm, CA 50, e estribos de diâmetro de 4,2 mm, CA 60, com espaçamento a cada 12 cm. Utilizou-se o mesmo concreto das placas e o peso dos montantes ficou em torno de 75 Kg.

Figura 6 – Detalhe da forma e armadura dos montantes estruturais. Fonte: Knöner, 2014.

As formas foram preparadas, niveladas e limpas antes que fosse passado o desmoldante. As armaduras devem ser conferidas, garantindo-se um cobrimento mínimo das peças. Da mesma forma, a peça foi concretada, vibrada e posta rigorosamente em nível, garantindo uma boa modelagem e cura.

5. Análises Teóricas

5.1 Resistência ao Fogo

De acordo com a NBR 5.627 (ABNT, 1980), o critério básico de classificação das edificações em relação à resistência ao fogo é determinado em função do tempo de duração que um elemento estrutural deve resistir.

No caso dos painéis, a análise mais importante é a da transmissão de calor através da espessura do componente. Raramente o cobrimento das armaduras tem a função de absorver as tensões das etapas de desforma e transporte, sendo um fator predominante na determinação da resistência ao fogo dos painéis (Precast Concrete Institute (PCI), 1989).

Segundo NBR 14.432 (ABNT, 2001), a determinação do TRRF (Tempo requerido de resistência ao fogo) é em função do tipo de ocupação da edificação e da sua altura. A mesma norma menciona que “estão isentas dos requisitos de resistência ao fogo estabelecidos nesta Norma as edificações cuja área total seja menor ou igual a 750 m²”.

Entretanto, optou-se por analisar o parâmetro tendo por base a norma do PCI (1989) para painéis de concreto. Nesse caso, foi considerada a espessura da placa aproximadamente igual a 10 cm (2 polegadas), sem considerar a camada de ar entre as mesmas, e o tipo de concreto como leve (*lightweight concrete*). Com o ábaco disponível na publicação, obtém-se o resultado identificado na Figura 7. Ou seja, utilizando gráfico do PCI (1989) foi determinado o tempo de 50 minutos de resistência ao fogo.

Figura 7 – Gráfico para determinação do tempo de transmissão de calor em concreto pré-moldado considerando a espessura da placa. Fonte: PCI, 1989.

5.2 Desempenho Térmico

Segundo NBR 15.575 (ABNT, 2013), o objetivo é verificar se a transmitância térmica e capacidade térmica do sistema “parede” proporcionam desempenho térmico mínimo conforme estabelecido para cada zona bioclimática do Brasil, de acordo com ABNT NBR 15.220 (ABNT, 2008).

Considerando a região de São Carlos, denominada região 4 devido a condição do clima da cidade, a NBR 15.220 (ABNT, 2008) estabelece que as paredes devem ser pesadas e as coberturas devem ser leves. As paredes pesadas, conforme Tabela C.2 da referida norma, devem ter transmitância térmica (U) menor ou igual a $2,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, atraso térmico (ϕ) maior ou igual a 6,5 h e fator solar (F_{So}) menor ou igual a 3,5 %.

Como se sabe, a área total do protótipo é de 27 m^2 e o pé direito médio é de $h = 2,80 \text{ m}$, sabe-se também que as paredes possuem duas placas, com espessura de 2,5 cm cada. A câmara de ar de 10 cm entre as placas não é configurada como opção entre as tipologias de vedações. A Figura 8 mostra os parâmetros que são considerados na análise deste requisito.

Figura 8 – Esquema do sistema “parede” em estudo quanto aos aspectos de desempenho térmico. Fonte: Knöner, 2014.

Knöner (2014) verificou os cálculos de acordo com as normas, mas os valores encontrados para a cidade de São Carlos não as atenderam, pois o atraso térmico obtido numericamente foi de 2,2 h, quando deveria ser de 6,5 h.

Assim, entende-se que a análise foi prejudicada, já que não foi possível considerar a câmara de ar. Mas a espessura da placa pode ser ajustada em função da região bioclimática brasileira, aumentando ou diminuindo a inércia térmica.

Como exemplificação, a Figura 9 mostra que as propriedades de inércia térmica do componente podem ser variadas para atingir o nível de desempenho desejado, em qualquer parte ou região com diferentes climas (FIB, 2012).

Figura 9 – Atraso da onda de calor devido à massa térmica do concreto. Fonte: FIB, 2012.

Assim, torna-se importante que essas variáveis sejam medidas em campo após a montagem do protótipo para comprovar as vantagens do sistema proposto. O resultado da elevada massa térmica tem influências na redução significativa do consumo de energia, sem necessidade de aquecimento ou resfriamento de forma artificial.

6. Ensaios Experimentais em Laboratório

6.1 Ensaios de Compressão Centrada

Foram realizados ensaios de compressão centrada nos montantes para aferir a capacidade resistente deles. A carga prevista no montante de concreto após levantamento das cargas existentes pode ser verificada na Tabela 1.

Tabela 1 – Levantamento das cargas existentes no montante mais desfavorável.

Peça	Dimensão	Peso específico	Carga
Peso próprio do pilar	0,10 × 0,10 × 3,20	2400 kg/m³	0,80kN
Peso próprio das placas (considerou-se a fixação de 12 placas em cada pilar)	0,025 × 0,5 × 1,0	2400 kg/m³	3,60kN
Cobertura metálica (considerou-se a carga distribuída em 32 pilares)	27,18 m²	21,92 kg/m²	0,19kN
Telha termoacústica: (considerou-se a carga distribuída em 32 pilares)	28m²	6,0 kgf/m²	0,06kN
Σ cargas verticais: =			4,65kN

Fonte: Knöner, 2014.

Considerando-se a carga máxima no montante majorada encontrou-se uma seção de armadura (As) igual a 0,15 cm², sendo adotado As = 1,27 cm², que correspondeu a quatro ferros de diâmetro igual a 6,3 mm. Considerou-se, no cálculo da armadura transversal, estribos de 4,2 mm com espaçamento de 12 cm. Foi verificada e atendida a excentricidade máxima do montante para que resista uma compressão no concreto de 171 kN (valor da carga crítica de flambagem do montante). Foram ensaiados três montantes com a aplicação de força centrada até a sua ruptura, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Ensaio de compressão axial dos montantes. Fonte: Knöner (2014).

Foram utilizados os equipamentos disponíveis no Laboratório de Pré-moldados (NETPRE) da UFSCar, principalmente a prensa hidráulica de 1000 kN. Os pilares se romperam devido à flambagem, resistindo à força axial esperada, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de compressão axial dos pilares.

Montante Ensaiado	Pu. exp. (kN)
Montante 01	131,12
Montante 02	164,21
Montante 03	195,71
Média	163,68

Pu. exp.: Máxima capacidade obtida por meio de ensaio.
Fonte: Knöner, 2014.

Visto que a carga máxima verificada no montante que recebeu maior carga foi de 55 kN, com coeficiente de segurança mínimo verificado de $\gamma = 2,38$, o pilar atendeu às necessidades de uso.

6.2 Ensaio de Flexão da Placa de Concreto que Compõe a Parede

Inicialmente foram avaliadas as placas pré-moldadas por meio de ensaios de flexão. A carga máxima prevista na placa foi de 1,20 kN, distribuída em dois pontos, com momento correspondente de 0,4 kN.m, conforme Figura 11. Foram considerados 31 diâmetros de armadura de tela, no sentido longitudinal da placa, cada diâmetro corresponde a $d = 0,50$ mm e cada fio possui uma área de $A = 0,05$ cm². Somando a área total da seção da armadura encontra-se o valor de $A_s = 1,7$ cm², sendo a espessura da placa igual a 2,5 cm, largura de 50 cm e comprimento de 100 cm, conforme já mencionado.

Figura 11 – Esquema de ensaio de flexão em placa pré-moldada. Fonte: Knöner, 2014.

Com os ensaios, pode-se concluir que as placas pré-moldadas suportaram um momento máximo no meio do vão de 0,41 kN.m, referente à aplicação de uma força de 1,66 kN, dividida em dois pontos, conforme Figura 12. Tal resultado atende a NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013).

Figura 12 – Esquema de montagem das placas a serem ensaiadas. Fonte: Knöner, 2014.

Os resultados dos ensaios de flexão das placas pré-moldadas podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de flexão nas placas pré-moldadas.

Peça Ensaída	$P_{u,exp}$	$M_{vão}$
	(kN)	(kN.m)
Placa 01	1,70	0,425
Placa 02	1,59	0,40
Placa 03	1,59	0,40
Placa 04	1,76	0,44
Média	1,66	0,42

$P_{u,exp}$: Máxima capacidade obtida por meio de ensaio; $M_{vão}$: momento no meio do vão.
Fonte: Knöner, 2014.

6.3 Ensaio de Carga Suspensa

Inicialmente foi montado um sistema “parede” composto por dois montantes e seis placas aparafusadas de um lado apenas. A Figura 13 mostra que, no laboratório, os montantes foram dispostos no solo e as placas aparafusadas e fixadas com buchas de PVC na horizontal. Após a fixação de todas as placas em seus respectivos montantes, resultou um painel que foi erguido no local como painel tipo *tilt-up*.

Figura 13 – Fixação das placas nos montante, montagem de um painel no solo. Fonte: Knöner, 2014.

Os ensaios a seguir consistem em submeter o sistema formado por montantes e placas aos esforços de momento fletor e de força cortante, por meio de aparelhagem ou dispositivos de carga compatível com a peça que se pretende ensaiar. Na análise da resistência ao ensaio de carga suspensa indicado pela NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, parte 4 (ABNT, 2013), foi fixado um suporte em uma face da placa e parafusada com parafuso de 8 mm de diâmetro e 6 cm de comprimento, e bucha de PVC, tal como indicado na Figura 14.

Figura 14 – Ensaio de carga suspensa na parede 1,20 kN período de 24 h. Fonte: Knöner, 2014.

O ensaio foi realizado com os dispositivos em laboratório, reproduzindo as situações previstas na NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, sendo aplicada a carga em patamares de aproximadamente de 50 N e sem golpes, aguardando intervalo aproximado de 3 minutos entre os patamares de carregamento.

De início, o suporte foi carregado atingindo 1,0 kN e permaneceu com essa carga por 24 h, sendo observado o deslocamento da placa em $dh = 1,0$ mm. O carregamento foi ampliado para 1,2 kN e, permanecendo por mais 24 h, o deslocamento passou para $dh = 1,50$ mm. A carga ficou exposta por vários dias e não foram observadas alterações nos resultados.

Algumas observações:

- O deslocamento horizontal $dh = 1,5$ mm foi observado na ligação do parafuso com a bucha de PVC;
- Não houve movimentação do sistema além do deslocamento verificado por relógio de deslocamento;
- Não houve fissuras nem movimentações;
- O sistema de fixação obedeceu rigorosamente a NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, parte 4 (ABNT, 2013);
- Não houve restrições do fabricante do suporte para as cargas preparadas.

6.4 Ensaio de Estanqueidade à Água

A diretriz de ensaio consistiu em submeter, durante um tempo determinado, a face externa de um corpo de prova do sistema montado a uma vazão de água, criando uma película homogênea e contínua, com aplicação simultânea de uma pressão pneumática

sobre essa face, seguindo as orientações da NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, parte 4 (ABNT, 2013). Com isso, espera-se que as águas das chuvas não venham a prejudicar o interior do ambiente de trabalho, com umidade ou infiltrações.

O corpo de prova foi constituído pelo sistema “parede”, formada por placa externa de concreto com espessura de 2,50 cm, concentrando a análise em duas placas, das quais uma pintada e a outra sem pintura, conforme Figura 15.

Figura 15 – Esquema de montagem do corpo de prova para ensaio. Fonte: Knöner, 2014.

Após 7 h de ensaio, apareceram pequenas manchas de água na face oposta da placa de 2,5 cm de espessura entre as placas.

6.5 Ensaio de Corpo Duro

A norma NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, parte 4 (ABNT, 2013), estabelece um método para verificação da resistência do sistema de parede à deformação provocada pelo impacto de corpo duro. O ensaio consistiu na liberação pendural, em repouso, de massa conhecida a uma altura determinada. A aparelhagem consistiu em:

- Um corpo de impacto com forma (esfera) e massa (1 kg) conforme estabelecido na norma; NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013);
- Dispositivo para medição dos deslocamentos com resolução de 0,1 mm.

O corpo de prova representou fielmente as condições do projeto, tipos de apoios e vinculações. O ensaio foi realizado no interior do NETPRE, utilizando um sistema “parede” em tamanho real.

A execução do ensaio visou suspender por um cabo o impactador, liberando-o em movimento pendural, gerando a energia de impacto indicado na Tabela 4. Os impactos foram aplicados em pontos aleatórios e distintos, conforme Figura 16, com altura constante de $h = 1,0\text{ m}$ para todos os lançamentos.

Tabela 4 – Representação e resultados dos impactos realizados sobre a placa.

Parâmetro por ponto°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dh (mm)	1,33	1,34	1,33	1,33	1,34	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Ap (mm)	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Daf (mm)	1,1	1,0	1,11	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0

Dh – Deslocamento horizontal medido no lado oposto da placa;
Ap – Afundamento na parede da placa de concreto;
Daf – Diâmetro do afundamento na placa.
Fonte: Knöner, 2014.

Figura 16 – Local nas placas dos impactos de corpo duro na altura de $1,0\text{ m}$. Fonte: Knöner, 2014.

Verificou-se que os resultados atendem à NBR 15.775 (ABNT, 2013) quanto ao desempenho recomendável do sistema em relação à resistência ao impacto de corpo duro nos níveis intermediário e superior, tanto para a vedação externa quanto interna. Com a energia de 10 Joules, não houve rupturas além das marcas. Tal resultado atende a NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho no nível M (mínimo de aceitação).

6.6 Ensaio de Corpo Mole

Este ensaio consistiu no lançamento de um saco de couro com altura de 90 cm e diâmetro de 35 cm, contendo areia e serragem, que totalizava uma massa de 40 kg, conforme os quesitos da NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) e NBR 11.675 (ABNT, 2016). É permitida uma variação de 40 cm para cima ou para baixo no sistema de pêndulo, constituído de suporte (altura superior a da

parede), fio de aço para sustentar o saco e sistema para medição dos resultados. Um registro do ensaio pode ser observado na Figura 17, na qual se verifica a placa rompida.

Figura 17 – Ensaio de corpo mole no sistema. Fonte: Knöner, 2014.

Esse ensaio teve como objetivo verificar a resistência do sistema à energia de impacto dos choques acidentais gerados durante a utilização da edificação ou choques provocados por tentativas de intrusões intencionais ou não.

Após o ensaio, verificou-se que a placa com altura mínima de $h = 30$ cm não se rompeu. Com a altura intermediária ($h = 0,90$ m), entretanto, a placa rompeu-se, como observado na figura 17. De acordo com a NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), atendeu o limite inferior.

7. Análise do Sistema Proposto

Após a realização dos ensaios e simulação, bem como a consideração das características do sistema construtivo proposto, pode-se verificar as seguintes situações quanto aos parâmetros técnicos:

- **Resistência ao fogo:** Verificação teórica que o sistema suporta 50 minutos de incêndio, conforme PCI (1989);
- **Desempenho Térmico:** Possui um atraso térmico de 2,2 h. Não está de acordo com o mínimo desejado para a cidade de São Carlos, que é de 6,5 h;

- **Estrutura:** atende as condições de serviço e estado limite último para as solicitações existentes nos componentes dos montantes (compressão) e das placas (flexão);
- **Carga suspensa:** Atendeu NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), nível superior “S”;
- **Estanqueidade:** Atendeu NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), nível superior “S”;
- **Corpo duro:** Atendeu NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), nível mínimo “M”;
- **Corpo mole:** Atendeu NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), nível mínimo “M”.

Em relação aos parâmetros de projeto, foram observadas as seguintes situações:

- **Facilidade de Construção:** a montagem das peças é possível com apenas dois trabalhadores, não sendo necessário o uso de equipamentos de grande porte. O uso de ferramentas elétricas, como parafusadeira, é recomendado;
- **Reaproveitamento:** existe a possibilidade de desmonte e transporte para outro lugar sem perdas de materiais e sem gerar resíduos significativos. Os componentes podem ser desmontados com cuidados, remontados e reaproveitados indefinidamente;
- **Modulação:** o projeto apresenta condições de modulação, facilitando a adaptação de acordo com as características do terreno, espaço disponível e necessidades de produção;
- **Custos:** o custo inicial maior é referente à fabricação das formas, que podem ser reaproveitadas; o custo de mão de obra é referente aos salários de um pedreiro e de um servente, que trabalharão inicialmente na fabricação e posteriormente na montagem;
- **Durabilidade:** considerou-se a mesma durabilidade das estruturas de concreto tradicional (mínimo de 50 anos);
- **Resíduos:** durante a produção dos componentes, pode ser considerado o reaproveitamento de resíduos da construção, mediante ensaios de qualidade dos agregados. Durante a montagem, pode haver perdas decorrentes de quebras e transporte inadequado; deve-se procurar treinar a mão de obra para obter menor desperdício.

8. Conclusões

O sistema proposto mostrou ser simplificado do ponto de vista do projeto, sendo composto basicamente por montantes e placas separadas por uma camada de ar, isolando a camada interna da externa. A fixação das placas é simplificada, podendo ser facilmente desconectadas, em caso de manutenção ou remontagem.

As análises e ensaios realizados colaboraram para afirmar que o protótipo idealizado é viável e possui diversas vantagens em relação às soluções improvisadas comumente utilizadas em canteiros de obras. O uso de soluções pré-fabricadas aumenta a sustentabilidade, em termos ambientais, econômicos e sociais, além de melhorar as condições de trabalho.

Ressalta-se novamente que as normas consultadas não fazem referências às instalações provisórias. Entende-se que é necessário ir além do que exige a NR-18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção (BRASIL, 2015) em relação às áreas de vivência, incorporando requisitos de desempenho do edifício. Considera-se importante que sejam propostos quesitos para as edificações provisórias, tal como relacionado pela NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013), de forma que sejam garantidas as condições de sustentabilidade das instalações provisórias de canteiro de obra.

Foi possível concluir que o sistema construtivo proposto pode evoluir tecnologicamente e apresentar soluções diferenciadas conforme as necessidades dos empreendimentos e da cadeia produtiva na construção civil. Este trabalho procurou apresentar um resumo da viabilidade e necessidade de projetar as instalações das áreas de vivência em canteiro de obras, visando também ao conforto e à saúde do trabalhador.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11.675** – Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência aos impactos. 2016. 7p. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12.284** – Área de Vivência em Canteiros de Obra. Procedimento. 1991. 14p. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14.432** – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. 2001. 15p. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.220** – Desempenho térmico de edificações. 2008. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15.575** – Edificações Habitacionais – Desempenho. 2013. Rio de Janeiro, Brasil.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5.627 – Exigências particulares das obras de concreto armado e protendido em relação à resistência ao fogo.** 1980. Rio de Janeiro, Brasil. (cancelada)

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego.** Norma Regulamentadora 18 (NR-18): Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. 2015. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>. Acesso em: nov. 2016.

DIAS, C.M.; SERRA, S.M.B. Overview of Industrialized Technological Solutions for Temporary Facilities in Construction Sites. 2013. In: Portugal Sustainable Buildings (SB13). **Proceedings...** Guimarães, Portugal, 2013.

FIB. Federation Internationale Du Beton. **Guide to Good Practice: Precast Insulated Sandwich Panels.** 2012. Commission 6 – Task Group T 6.11.

KNÖNER, N. **Sistema pré-fabricado para aplicação em construções provisórias de canteiros de obra.** 2014. 147f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

PCI. Precast Concrete Institute. **Design for Fire Resistance of Precast Prestressed Concrete.** 1989. 2nd ed. 93p. Disponível em: http://kerkstra.com/uploads/resources/MNL-124-89_Fire_Resistance.pdf. Acesso em: dez. 2016.

PREFACC. **Edificações em Concreto Celular.** 1992. Disponível em: <http://www.prefacc.com.br/>. Acesso em: dez. 2016.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M.A.; PIGOZZO, B.N. Evolução dos pré-fabricados de concreto. In: 1. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado, **Anais...** 2005, USP, São Carlos – SP. v. 1. p. 1-10.

VANACHER, A. **Manual de Sistemas Pré-fabricados de Concreto.** 2002. Tradução: FERREIRA, M.A. 2003. 129f. Disponível em: <<http://www.ft.unicamp.br/~cicolin/ST%20725%20A/mpf.pdf>>. Acesso em: dez. 2016.

Registro da montagem do protótipo para instalação provisória em pré-moldado de concreto para canteiros de obra

Local: campus da UFSCar, São Carlos, SP

Período da montagem: fevereiro a maio de 2017

Empresa contratada: Fragalli Engenharia Ltda.

Conveniente: Fundação de Apoio Institucional (FAI/UFSCar)

Projeto e responsável técnico: engenheiro civil Nery Knöner

Fotos e acompanhamento: profa. Sheyla Mara Baptista Serra e engenheiro civil José Luis Morelli

Figura 1 – Vista da localização dos furos referentes aos pilares da instalação provisória.

Figura 2 – Elemento de concreto para fixação do pilar.

Figura 3 – Colocação do pilar de concreto pré-moldado.

Figura 4 – Vista geral da montagem da IP.

Figura 5 – Vista da montagem da estrutura metálica de coroamento e de fixação da cobertura.

Figura 6 – Assentamento de piso cerâmico e calafetação das placas pré-moldadas de concreto.

Figura 7 – Detalhe da fixação das instalações elétricas.

Figura 8 – Vista geral da IP após pintura e instalação dos vidros das esquadrias.