

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**SISTEMA PRÉ-FABRICADO PARA APLICAÇÃO EM CONSTRUÇÕES
PROVISÓRIAS DE CANTEIROS DE OBRAS**

Nery Knöner

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Estruturas e Construção Civil.

Área de Concentração: Sistemas Construtivos

Orientador: Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho

Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo de Araújo Ferreira

**São Carlos
2014**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

K72sp Knöner, Nery.
Sistema pré-fabricado para aplicação em construções
provisórias de canteiros de obras / Nery Knöner. -- São
Carlos : UFSCar, 2014.
147 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2014.

1. Construção civil. 2. Sistemas construtivos. 3.
Instalações provisórias. 4. Concreto pré-moldado. 5.
Tecnologia na construção de um pavimento. I. Título.

CDD: 690 (20^a)



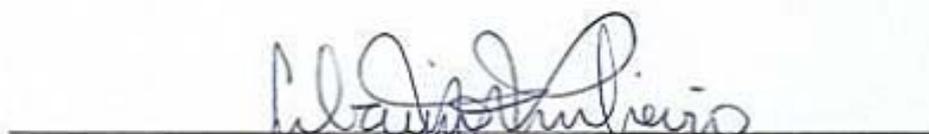
NERY KNONER

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em vinte e três de maio de 2014.

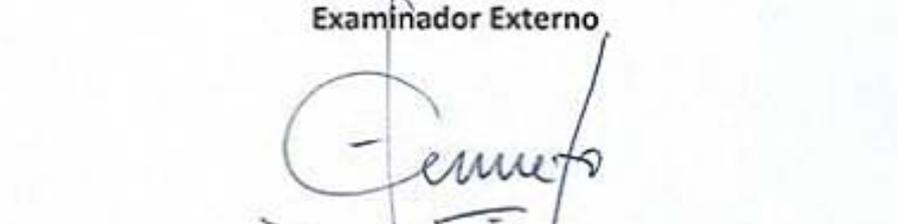
Banca Examinadora constituída pelos membros:



Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho
Departamento de Engenharia Civil/PPGECiv/UFSCar
Orientador



Prof. Dr. Libânio Miranda Pinheiro
Departamento de Engenharia de Estruturas/EESC/USP
Examinador Externo



Prof. Dr. José da Costa Marques Neto
Departamento de Engenharia Civil/PPGECiv/UFSCar
Examinador Interno

EPÍGRAFE

“Criatividade é inventar, experimentar, crescer, correr riscos, quebrar regras, cometer erros e se divertir.” (Mary Lou Cook)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por permitir completar mais uma etapa importante em minha carreira profissional, e também por colocar em meu caminho pessoas de valor inestimável, que me apoiaram durante todo o meu mestrado. Ao professor e amigo, Fernando M. de Almeida Filho, pela orientação e ao professor Marcelo de A. Ferreira pela contribuição para que este trabalho fosse feito, ao permitir que se utilizasse o laboratório de estruturas NETPRE e uma sala especial onde toda pesquisa e ensaios foram realizados. À Prof^a Dr^a Sheyla Mara Baptista, coordenadora do projeto Cantechis, através do financiamento do FINEP por permitir que este trabalho fosse viabilizado. Meus sinceros agradecimentos pelo aprendizado e pela amizade cultivada. Meu agradecimento também ao PPGE Civ.

Não posso esquecer de todo incentivo nos momentos mais difíceis, pela força, companheirismo e apoio a minha decisão, recebido de minha querida esposa Josiane. Dedico este trabalho a ela e aos meus filhos Lenise e Eder Knöner. Também com carinho à minha mãe Alfa e ao meu Pai Alfredo (*in memoriam*).

RESUMO

Sistema pré-fabricado para aplicação em construções provisórias de canteiro de obras. 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil).
- Universidade Federal de São Carlos, São Carlos 2014.

O emprego de elementos pré-fabricados tem se tornado crescente no Brasil, em virtude disso, o presente trabalho visa descrever o estudo e os procedimentos de construção e montagem de um sistema construtivo em obras de um pavimento. Partindo do que se entende como inovação tecnológica, a presente dissertação de mestrado, procura mostrar um projeto em pré-fabricados de concreto que poderá ser aplicado nas instalações de canteiros de obras. Este projeto possibilita que se atendam às demandas de mercado para construção de canteiros de obra de acordo com os quesitos da NR18 2012 e ABNT (NB1367/NBR 12284, 1991), onde todas as ações da produção da construção civil acontecem e onde as instalações normalmente são provisórias e precárias. O sistema pré-fabricado propõe soluções como: rapidez na montagem, eliminação de resíduos e baixo custo, além de utilizar um processo construtivo que pode ser reaproveitado em outro canteiro, iniciando-se todo processo sem perdas das peças que o compõe. Foi possível concluir que o sistema proposto pode representar uma importante solução que vem de encontro às necessidades do setor da construção civil, uma vez que os canteiros de obra podem proporcionar ao trabalhador condições satisfatórias na área de vivência, possibilitando instalação modular adequada às necessidades, refletindo em um bom desempenho por parte dos trabalhadores.

Palavras-Chave: Instalações provisórias. Concreto pré-moldado. Tecnologia na construção de um pavimento.

ABSTRACT

KNÖNER, Nery. Prefabricated temporary buildings for use in the construction site system. 2014. 110 f. Dissertation (Masters in Structures and Construction). - Federal University of Sao Carlos, Sao Carlos 2014.

The use of prefabricated elements has become increasing in Brazil, This paper describes the study and the procedures for construction and erection of a building system works on a pavement. Within the concept of technological innovation seeks to show a project in precast concrete that can be applied in facilities construction sites. Enables to meet the market demand for building construction sites in accordance with the requirements of the NR18 and ABNT (NB1367/NBR 12284, 1991), where all the actions of the production of construction happening and where the facilities are usually temporary and precarious. The system proposed solutions such as fast assembly, elimination of waste, and low cost, besides being a constructive process that can be reused in another bed, starting process without any loss of parts that compose it. Attaches itself to the system with one of the solutions that meets the needs of the construction industry in which it is possible to build construction sites, providing the employee satisfactory experiences in the area of enabling a modular installation adapting to the needs and administrative for the proper performance of the employee.

Keywords: Temporary facilities. Precast concrete. Technology in the construction of a pavement.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Contêineres utilizados para canteiros de obras na França.	14
Figura 2: Instalações provisórias em madeira para canteiros de obras	19
Figura 3: Uso de contêineres em instalações provisórias - refeitório e vestiários	19
Figura 4: Preferência permanecer fora do contêiner	20
Figura 5: Painel sanduíche.....	24
Figura 6: Exemplo de painel sanduíche	25
Figura 7: Atraso da onda de calor devido à massa térmica do concreto	27
Figura 8: Uso de contêineres metálicos para instalações provisórias	32
Figura 9: Instalações provisórias em fibra de vidro	34
Figura 10: Uso da alvenaria cerâmica para instalações provisórias.....	36
Figura 11: Instalação provisória em chapa de madeira	38
Figura 12: Fachada do canteiro de obra com material USB.....	40
Figura 13: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada	46
Figura 14: a) Propagação do som b) Período e comprimento de onda e um ciclo....	52
Figura 15: Níveis de Pressão Sonora (limiar da audição até limiar da dor).....	54
Figura 16: Limites acústicos para residências e escritórios - ABNT NBR 10152	55
Figura 17: Limites de ruído no interior de ambientes especificados.....	56
Figura 18: Espectro do ruído rosa (adaptado de PUJOLLE, 1978, p.32)	57
Figura 19: Reflexão, absorção e transmissão do som	58
Figura 20: Curva típica da perda de transmissão para fechamentos simples	59
Figura 21: Efeito da coincidência	61
Figura 22: Momento em que existe a frequência crítica	62
Figura 23: Lei da Massa (CSTB, 1982)	63
Figura 24: Representação de duas paredes com caixa de ar entre as paredes	65
Figura 25: Esquema de ondas	66
Figura 26: Reflexão e transmissão em um fechamento duplo	67
Figura 27: Diferença entre o isolamento de uma parede simples e uma dupla.....	68
Figura 28: Requisitos de segurança (fogo) para fachadas.....	75
Figura 29: Resistência ao Fogo.....	79
Figura 30: Fases do ciclo de vida de edificações	82
Figura 31: Acabamento interno de uma sala de aula	86
Figura 32: Protótipo de canteiro de obra, construção no campus da UFSCar	87
Figura 33: Forma tanto dos montantes como das placas (madeira e metálica)	88
Figura 34: Concretagem, colocação da tela galvanizada.....	89
Figura 35: Placa de concreto usada no fechamento formando as paredes	89
Figura 36: Armadura dos montantes estruturais	90
Figura 37: Detalhe da forma e armadura que compõem o montante	91
Figura 38: Elemento de fundação na parte superior é posicionado o montante	92
Figura 39: Fixação das placas nos montantes, montagem de um painel no solo	92
Figura 40: Painel montado e posicionado	93
Figura 41: Construção de 75m ² na cidade de Candói, interior do Paraná.....	93
Figura 42: Detalhe da Janela	94
Figura 43: Paredes acabadas sem uso de chapisco e sem uso de reboco	95
Figura 44: Detalhes das esquadrias, medidas em [mm]	97
Figura 45: Fachada de uma escola construída na cidade de Guarapuava	99
Figura 46: Esquema de montagem (sala de aula em fase de acabamento)	99
Figura 47: Vista em planta da parede com duplas placas, em planta.	100

Figura 48: Parede formada por placas em concreto	101
Figura 49: Placa de fechamento em concreto pode ser com espessura variável....	102
Figura 50: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada	103
Figura 51: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada	111
Figura 52: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada	111
Figura 53: Ensaio compressão axial dos montantes	115
Figura 54: Ensaio de compressão axial do montante, pré-moldado.....	116
Figura 55: Esquema de ensaio de flexão em placa pré-moldada.....	118
Figura 56: Esquema de montagem das placas a serem ensaiadas.....	119
Figura 57: Ensaio de flexão em placa pré-moldado	119
Figura 58: Esquema de mão-francesa	121
Figura 59: Carga suspensa na parede 1,20kN período de 24h.....	122
Figura 60: Esquema de dispositivos para medida de vazão	125
Figura 61: Esquema de montagem do corpo-de-prova para ensaio	126
Figura 62: Garantindo a vazão de 3dm ³ /min e pressão de 50Pa	127
Figura 63: Resultado do ensaio (manchas de água na face oposta da placa).....	127
Figura 64: Local nas placas dos impactos de corpo duro	129
Figura 65: Preenchimento do saco com areia e serragem peso de 40kg	132
Figura 66: Ilustração - Equipamentos de ensaio	133
Figura 67: Suspenso o saco de 40kg a uma altura h=30cm	135
Figura 68: Ensaio realizado corpo mole h=30cm, energia de 120J.....	136
Figura 69: Ensaio realizado corpo mole	136

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Características de alguns materiais quanto ao seu isolamento.....	28
Tabela 2: Obras de instalações provisórias	41
Tabela 3: Instalações provisórias de canteiro de obra (esquadria aberta)	42
Tabela 4: Instalações provisórias de canteiro de obra com (esquadria fechada).....	43
Tabela 5: Resistência térmica de câmara de ar não ventilada	44
Tabela 6: Resistência térmica superficial interna e externa, NBR15220	45
Tabela 7: Níveis de Pressão Sonora desde o limiar da audição até o limiar da dor..	53
Tabela 8: Impacto do ruído	69
Tabela 9: Valores de STC para Componentes Construtivos (valores em dB).....	72
Tabela 10: Índice de redução sonora ponderado, R_w	74
Tabela 11: Tempos requeridos de resistência ao fogo – TRRF	76
Tabela 12: Resistência ao fogo de painéis de concreto maciço PCI, (1989)	77
Tabela 13: $R_1^{0,59}$ tempo de resistência ao fogo em função do material isolante.	77
Tabela 14: Levantamento das cargas existentes no montante mais desfavorável..	114
Tabela 15: Resultados dos Ensaios de compressão axial	117
Tabela 16: Resultados dos Ensaios de flexão nas placas pré-moldadas.....	120
Tabela 17: Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas	123
Tabela 18: Massa do corpo precursor de impacto, altura e energia de impacto.	128
Tabela 19: Representação e resultados dos impactos realizados sobre a placa	129
Tabela 20: Impactos de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas)..	130
Tabela 21: Impactos de corpo duro para vedações verticais internas.....	130
Tabela 22: Massa de corpo mole, altura e energia do impacto	133
Tabela 23: Impactos de corpo mole (fachadas) sem função estrutural	134
Tabela 24: Comparação dos itens analisados.....	140

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TEXTO	17
2 SISTEMAS PARA INSTALAÇÕES DE OBRAS	18
2.1 INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	18
2.1.2 Panorama atual dos sistemas para instalações provisórias de canteiros de obras.	18
2.2 CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA	20
2.3 ÁREAS DE VIVÊNCIA	22
2.4 PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO	23
2.4.1 Pannel tipo sanduíche	24
2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	25
2.6 DIMENSIONAMENTO - CONFORTO TÉRMICO	27
2.7 SISTEMAS PROVISÓRIOS EM CANTEIROS DE OBRA	29
2.7.1 Aspectos que caracterizam os sistemas considerados	29
2.7.2 Utilização de contêineres metálicos para canteiro de obra	31
2.7.3 Utilização de fibras de vidro para instalação provisória	33
2.7.4 Utilização da alvenaria cerâmica para instalação provisória.	35
2.7.5 Utilização de chapas de madeira compensada	37
2.7.6 Utilização de Madeira OSB (oriented strand board)	40
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
3 DESEMPENHO PARA EDIFICAÇÕES DE UM PAVIMENTO	44
3.1 CÁLCULO TEÓRICO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA	44
3.2 RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAIS	45
3.3 RESISTÊNCIA TÉRMICA DA PAREDE	46
3.4 CAPACIDADE TÉRMICA DA PAREDE NAS SEÇÕES	47
3.5 ATRASO TÉRMICO “ φ ” EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE	48
3.6 FATOR SOLAR	49
3.7 CÁLCULO TEÓRICO DA ACÚSTICA	49
3.8 SOM	50
3.8.1 Propagação do som	50
3.8.2 Frequência	51
3.8.3 Nível de pressão sonora	52
3.8.4 Classificação dos ruídos	54
3.8.5 Isolamento acústico	58
3.8.6 Isolamento acústico (fechamentos simples)	59
3.8.7 Isolamento acústico (fechamentos duplos)	64
3.9 RESISTÊNCIA AO FOGO	74
3.9.1 Cálculo teórico de resistência ao fogo, PCI (1989)	78
3.9.2 Cálculo teórico utilizando ABNT NBR 15200	79
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
4.1 SISTEMA PROPOSTO DE INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	81
4.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	82
4.3 ANÁLISE INICIAL DO SISTEMA PROPOSTO	84
4.4 ASPECTOS RELEVANTES SOBRE O SISTEMA PROPOSTO	85
4.5 DEFINIÇÕES DAS PEÇAS DE CONCRETO DO SISTEMA	87

4.5.1 Placas de concreto.....	87
4.5.2 Montantes	89
4.5.3 Esquadrias	95
4.6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO - ABNT NBR 15220	100
4.7 CÁLCULO DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPOSTO	102
4.7.1 Cálculo da resistência térmica	102
4.7.2 Cálculo da resistência térmica da parede do protótipo.....	103
4.8 TRANSMITÂNCIA TÉRMICA.....	104
4.9 CAPACIDADE TÉRMICA DA PAREDE.....	104
4.9.1 Atraso térmico em função da espessura da parede “ φ ”	105
5 FATOR SOLAR	105
6 SIMULAÇÃO NUMERICAMENTE DA ACÚSTICA DO SISTEMA PROPOSTO	108
7 SIMULAÇÃO AO FOGO - NBR 15200 (ABNT,1912).....	110
8 OBTENÇÃO DOS RECURSOS PARA VIABILIZAR O PROJETO.....	113
9 CAPACIDADE RESISTENTE DOS COMPONENTES DO MODELO	113
9.1 ENSAIOS DE COMPRESSÃO CENTRADA.....	113
9.2 ENSAIO - A FLEXÃO DA PLACA DE CONCRETO DA PAREDE.....	117
9.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS SVVIE ÀS SOLICITAÇÕES DE PEÇAS SUSPENSAS - ENSAIOS DE CARGA SUSPensa	120
9.3.1 Desempenho térmico	124
10 ENSAIO - ESTANQUEIDADE SVVE	124
10.1 ENSAIO DE CORPO DURO	128
10.2 ENSAIO DE CORPO MOLE NOS SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS – PARA CASAS TÉRREAS – COM OU SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL	131
11 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	137
12 COMPARAÇÃO COM OS SISTEMAS ANALISADOS.....	138
13 CONCLUSÕES	141
13.1 PROPOSTAS PARA FUTUROS TRABALHOS	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144

1 INTRODUÇÃO

No Brasil nas últimas décadas houve um aumento significativo no uso de estruturas pré-fabricadas em concreto, tanto em virtude do crescimento populacional quanto da renovação de estruturas depreciadas que necessitavam ser renovadas.

Não há demanda que proporcione uma construção limpa, racional e com menos desperdício. Dessa forma, é cada vez maior o estudo acerca das estruturas pré-fabricadas em concreto, no sentido de proporcionar ao trabalhador conforto e bem estar dentro de seu ambiente de trabalho. O aproveitamento dos recursos disponíveis requer utilização de componentes e processos padronizados. No contexto estabelecido, a pré-fabricação de peças em concreto, cumpre um papel essencial na indústria da construção civil em geral, seja ele de caráter habitacional, industrial ou em obras de instalações provisórias como os canteiros de obras.

Para Sayeg (2011), tanto na fase de estruturas como vedação é necessário pensar em “projeto enxuto” e produção em escala para viabilizar o sistema em: <http://engcivil2-el.blogspot.com.br/> (acesso em novembro de 2013).

PICCHI & AGOPYAN (1993), acrescenta que “a qualidade do projeto é um dos componentes mais importantes da qualidade” e que “a preocupação com a qualidade a partir do projeto é grande e justificável, pois o mesmo é indicado em todas as pesquisas como grande vilão da qualidade na construção”. Sintetizando, o projeto é uma ferramenta importante para a implementação da racionalização construtiva, reafirmado por FRANCO & AGOPYAN (1993) apud MELHADO (1994) que diz: “etapa do projeto é a mais propícia para a introdução da maioria das medidas que visam à racionalização”.

Sobre o significado da industrialização, todas as definições podem ser compreendidas em apenas uma: “A industrialização com utilização de tecnologias substitui a mão de obra artesanal por operários qualificados que operam máquinas eletromecânicas e a necessidade de integração entre as etapas de uma obra”. A primeira obra de pré-moldado no Brasil refere-se ao Hipódromo da Gávea no final da década de 50. A racionalização e a industrialização aparecem de forma sistemática no início da década de 60. Entre a década de 60 e 90 houve desestímulo em pré-moldados, porém na segunda metade da década de 70 o BNH adotou novas diretrizes para o setor reorientando sua atuação e o desenvolvimento de processos

construtivos de componentes pré-moldados se deu devido ao crescimento da cidade de São Paulo onde o pré-fabricado voltou com maior credibilidade na década de 90.

A agricultura se modernizou e é hoje responsável pelo superávit da balança comercial brasileira. O setor têxtil conseguiu preços internacionalmente competitivos e hoje exporta seus produtos. Já na construção civil continua-se utilizando a mão de obra artesanal, métodos que em outros países estão ultrapassados. A construção civil responde por uma fatia expressiva do PIB brasileiro (16%), sendo o único setor da economia nacional que ainda não se industrializou” (UNIMEP 2005).

A construção industrializada vem como alternativa para solucionar problemas latentes, déficit na construção habitacional, industrial e de canteiros de obras. Vê-se aqui a possibilidade de se construírem canteiros de obras e esses ambientes serem desmontados e reaproveitados sem que haja perdas de materiais, evitando criação de novos entulhos.

Segundo REVEL (1973), pré-fabricação no campo da construção civil significa fabricar certo elemento antes do seu posicionamento final na obra. A NBR 9062 define estrutura pré-fabricada como elemento pré-moldado executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, ou em instalações permanentes de empresa destinada para este fim que atende aos requisitos mínimos de mão de obra qualificada; a matéria-prima dos elementos pré-fabricados deve ser ensaiada e testada quando no recebimento pela empresa e previamente à sua utilização.

De modo mais abrangente pode-se dizer que a pré-fabricação é a produção de elementos de construção civil em indústrias, com posterior transporte e montagem das peças.

CLARO (2010), define que elemento pré-fabricado é aquele produzido em escala industrial, obedecendo a manuais e especificações técnicas, por pessoal treinado e qualificado, sob condições rigorosas de controle de qualidade, e que elemento pré-moldado é aquele executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, produzido em condições menos rigorosas de controle de qualidade, mas sujeito a inspeção do próprio construtor.

O sistema pré-fabricado em concreto teve ascensão juntamente com a evolução da indústria da construção civil, tendo relação com a mecanização dos meios industriais de modo geral.

Atualmente o seu desenvolvimento está ligado não só aos processos de fabricação, mas também aos processos de transporte e montagem dos elementos.

Segundo SERRA (2005), a industrialização da construção civil, através da utilização de peças de concreto pré-fabricados promoveu, no Brasil e no mundo, um salto de qualidade nos canteiros de obras, pois através de componentes industrializados com alto controle ao longo de sua produção, com materiais de boa qualidade, fornecedores selecionados e mão de obra treinada e qualificada, as obras tornaram-se mais organizadas e seguras.

Segundo VASCONCELLOS (2002), não é possível datar o início da pré-fabricação de estruturas, tendo em vista que o próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos, fora do local de seu uso. Desse modo, é possível afirmar que os elementos pré-fabricados surgiram com a invenção do concreto armado.

Na Europa o grande crescimento do sistema pré-fabricado foi consequência da necessidade de reconstrução, após a Segunda Guerra Mundial, sendo o período de 1945 a 1950 caracterizado pela expressiva demanda de construções, tais como habitação, escolas, hospitais, indústrias, pontes etc. No Brasil, o cenário histórico não foi o mesmo, o sistema foi impulsionado pela busca da racionalização com consequente diminuição de gastos e aumento de lucros, diante de um mercado em crescimento e em constante disputa.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é estudar um sistema pré-fabricado em concreto para aplicação em instalações provisórias de canteiros de obras. A proposta surge no sentido de encontrar um sistema eficiente, de construção rápida, econômica, com redução significativa na produção de resíduos. O sistema proposto após o uso, independentemente do tempo, a instalação provisória poderá ser desmontada e remontada novamente sem perdas de peças em sua utilização.

Além disso, pretende-se descrever as características arquitetônicas, estruturais e construtivas, o desempenho do sistema proposto que é constituído por elementos pré-fabricados de concreto para construção de ambientes de instalações provisórias, aplicadas a canteiros de obras, segundo as recomendações da ABNT

(Associação Brasileira de Normas Técnicas) e do PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat).

1.2 JUSTIFICATIVA

A construção em elementos pré-fabricados em concreto não se limita apenas em fabricar as peças fora do canteiro, mas sim engloba todo um sistema construtivo com características próprias que devem ser preconizadas desde o início do projeto de instalações provisórias, respeitando as particularidades estruturais de cada sistema construtivo (FIB, 2002). Sendo assim, sua utilização possui grande potencial de aplicação para empreendimentos em canteiros, até mesmo em obras habitacionais.

Recentemente, no ano de 2009, o Governo Federal, por meio do Ministério das Cidades e da Caixa Econômica Federal, e o Governo do Estado de São Paulo, por meio da CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano), realizaram-se ações com o objetivo de promover uma maior racionalização e produtividade da construção habitacional. Assim, foi possível obter um incentivo especial para aplicação de soluções pré-fabricadas de concreto com desempenho satisfatório sem a perda de qualidade, segundo as novas diretrizes nacionais.

Do ponto de vista ambiental, a maior necessidade de desenvolvimento de tecnologias específicas diz respeito a produtos modulares para abrigar as construções provisórias, que possam ser reaproveitados em diferentes obras. Soluções como esta já são oferecidas pelo mercado, mas em condições de desempenho apenas suficientes. Em outros países, o mercado dispõe de sistemas mais sofisticados e duráveis, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Contêineres utilizados para canteiros de obras na França.



Fonte: <http://www.algeco.fr/construction-modulaire/prefabrique-origin.html>

Na França foram criadas uma série de edifícios modulares para todas as necessidades de obras temporárias em pré-fabricados. Edifícios modulares são de origem funcional e perfeitamente adequados ao armazenamento ou a projetos de instalação provisórias de obras, locais de trabalho, construção de bangalôs, banheiros químicos, que são instalados e desinstalados rapidamente. Eles oferecem um ambiente de trabalho aprimorado por meio da implementação de qualidade e acessórios de aluguel: cadeiras, mesa, geladeira, camas. Os fornecedores são responsáveis por tudo, desde a construção pré-fabricada até luxuosos mobiliários. Todas as instalações do local cumprem normas rigorosas de segurança e proteção das pessoas e o trabalho é desenvolvido com toda segurança. De acordo com a dimensão desejada, o módulo construtivo é adaptado ao ambiente de interesse.

No Brasil, a maioria dos canteiros de obras ainda é precário e não projetado com vistas ao seu melhor funcionamento. Considerado como uma instalação temporária, não costuma seguir regras de projeto e de segurança, e em alguns casos a NR-18 (2012), que preconiza condições mínimas de habitabilidade da edificação, é atendida.

Propõe-se, pelo exposto no presente trabalho, aliar segurança e saúde para o trabalhador envolvido neste processo, sendo uma obra de fácil execução e economicamente viável. Destaca-se que é possível a construção de instalações provisórias de qualidade e que atenda ao que a NR-18 e a ABNT NBR 12284 de 1991 propõem.

O projeto propõe-se como protótipo destinado a instalação temporária em canteiro de obra, inicialmente para ser utilizado apenas para este fim, porém podendo vir a ser utilizado em outros tipos de construção habitacional, como já vem sendo usado.

1.3 METODOLOGIA

A pesquisa proposta trata-se de um estudo teórico e experimental, dividido em três etapas:

A primeira etapa consiste do estudo sobre a utilização de diferentes sistemas construtivos para aplicação em instalações provisórias, como:

- a) Autoconstrução: preparar o material e montar;

- b) Reaproveitamento: após a utilização transportar para outro lugar sem perdas de materiais e sem gerar resíduos;
- c) Modulação: modular de acordo com a característica do terreno, necessidade de adaptação para melhor aproveitamento do espaço disponível;
- d) Conforto térmico e acústico: proporcionar ao trabalhador um local de descanso e vivência observando os quesitos encontrado na ABNT NBR15575 e NR 18;
- e) Rapidez na execução: montagem que não depende de muitas pessoas e de conhecimento técnico, apenas com um manual de montagem, possibilite a construção em poucos dias;
- f) Segurança: proporcione segurança contra impactos, incêndio e depredações;
- g) Adaptabilidade; adequar a instalação em função do espaço disponível, utilizando modulações;
- h) Custos: Custo benefício em relação ao uso de um sistema que permita desmontar e montar, reaproveitando o mesmo material sem gerar resíduos e sem perda de material. Ao longo da vida útil o sistema ainda está em uso, diluindo seu custo;
- i) Durabilidade: Material de concreto é durável ao longo de 50 ou mais anos;
- j) Resíduos: com a preocupação constante do meio ambiente, um sistema que não venha gerar resíduos;
- k) Acústica: Um sistema que não provoque ao trabalhador ruídos acima do que preconiza a legislação;
- l) Incêndio: Possibilidade de princípios de incêndios, trazendo maior segurança ao ambiente de trabalho dos administradores;
- m) Conforto Térmico: Que o calor ou frio existente na parte externa venha passar para a parte interna sem que exista uma barreira, diminuindo o desconforto para quem trabalha naquele ambiente;
- n) Estrutura: Que seja sólida, garanta segurança contra ventos e impactos;
- o) Estanqueidade: nas águas projetadas da chuva não venha prejudicar o interior do ambiente de trabalho com umidade ou infiltrações;
- p) Corpo mole: Resistência mínima ao que preconiza a ABNT NBR

15575, que é um impacto de 40kg sobre a parede com altura de 30cm. Sem provocar demolição;

q) Corpo duro: Resistência mínima que preconiza a ABNT NBR15575, que é um impacto de 1,0kg a uma altura de 1,0m, sem provocar demolição. A segunda etapa consiste da proposta de um sistema construtivo para aplicação em instalações provisórias, levando em consideração as propriedades requeridas pelas normas vigentes e as características requeridas na primeira etapa de estudo considerando os quesitos mínimos propostos. A terceira etapa consiste da análise crítica dos sistemas atuais mais empregados e comparados com o sistema proposto.

Com alguns dos sistemas de instalações provisórias já existentes, pode-se descrever sobre estes que não se pode obter dados completos sobre desempenho desses sistemas. Eles existem e são usados largamente em canteiro de obras, em instalações provisórias. Os dados existentes não contemplam o mínimo de dados para se ter uma ideia do funcionamento sobre a norma de desempenho ABN NBR 15575. Assim não se tem parâmetros para comparar com o sistema que estamos propondo. Tenta-se de comparar com os seguintes pontos: 1 - rapidez na montagem; 2 - modulação; 3 – custo; 4 - reaproveitamento dos materiais sem perdas; 5 - atender à NR18 ABNT NBR 15575.

1.4 ESTRUTURA DO TEXTO

No **Capítulo 2**; breve revisão bibliográfica com panorama atual dos sistemas existentes. Sistemas construtivos existentes, considerações sobre alguns tipos de painéis de fechamento, princípios de funcionamento e isolamento energético.

No **Capítulo 3**; alguns sistemas de instalações provisórias mais utilizadas em canteiro de obras existentes e suas características.

No **Capítulo 4**; desempenho das instalações provisórias consideradas, comparação com o que preconiza a ABNT NBR15575:2012, comparando as características entre os sistemas estudados. Sistema proposto, definições das peças principais de concreto que compõe o sistema e suas instalações, ensaios teóricos, ensaios realizados e conclusões, obtenção dos recursos de viabilização do projeto.

No **Capítulo 5**; são mostradas as comparações dos resultados obtidos com os demais sistemas descritos neste trabalho.

No **Capítulo 6**; são apresentadas as conclusões da pesquisa e proposta de trabalhos futuros.

2 SISTEMAS PARA INSTALAÇÕES DE OBRAS

Uma preocupação que vai além da redução das perdas e da gestão dos resíduos é: O que é feito visando à redução de impactos ambientais e melhoria das condições sociais dos trabalhadores? Políticas públicas e legislação?

Quanto à questão social, programar medidas voltadas aos trabalhadores, que se refere a questões econômicas, assegurar a eficiência econômica da obra e combater a ilegalidade no que se refere a canteiros de obras. (CARDOSO FRANCISCO & FIORAM M.A. VIVIANE, 2009)

2.1 INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS

Os projetos das instalações do canteiro dependem do tamanho da obra, do volume de material a ser armazenado, do número de funcionários, equipes técnicas, dos períodos em que, tanto a mão de obra quanto o material deverão estar na obra.

2.1.2 Panorama atual dos sistemas para instalações provisórias de canteiros de obras.

Normalmente as instalações de canteiros de obras não são projetadas de acordo com as normas e legislação vigente e, em alguns casos, são improvisadas em painéis de madeira compensada, conforme Figura 2, que são considerados de baixo custo, sem reaproveitamento.

Figura 2: Instalações provisórias em madeira para canteiros de obras



Fonte: O autor

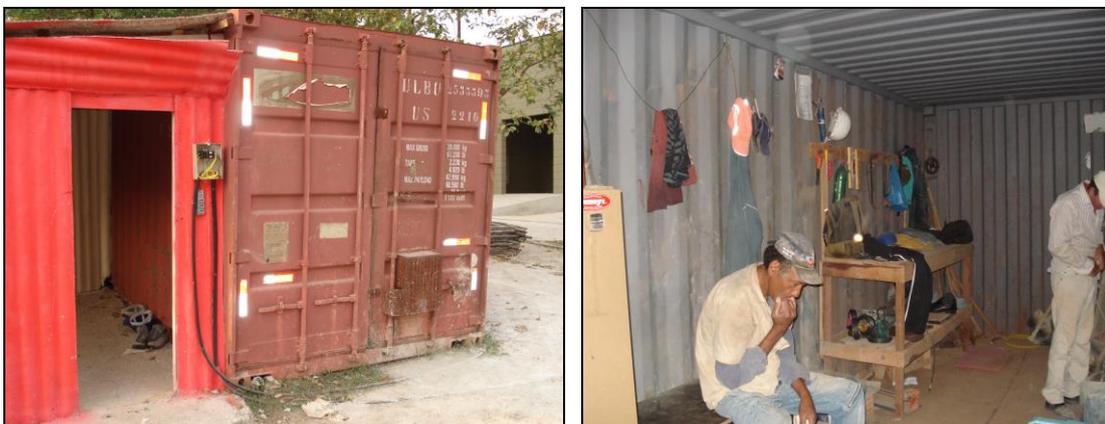
Nas instalações de canteiro de obras feitas com alvenaria, os custos já seriam bem maiores e praticamente sem reaproveitamento.

Existe fornecimento de contêineres de qualidade, com índices de conformidade às normas. Entretanto, observa-se também a opção de contêineres improvisados, adaptados como instalações provisórias, usados como depósito de materiais. Estes costumam ser fáceis de serem transportadas por caminhão, normalmente são locados pelas empresas prestadoras de serviço.

Na aquisição de um contêiner o custo é relativamente baixo, pois são normalmente peças descartadas pelo transporte marítimo. O que onera são os complementos e modificações para que atenda a legislação pertinente.

Em caso de locação onde não são obedecidas as normas pertinentes tem o uso de contêineres sem o mínimo de condições para uso como instalações provisórias. A Figura 3 ilustra exemplos de contêineres metálicos.

Figura 3: Uso de contêineres em instalações provisórias - refeitório e vestiários



Fonte: O autor

Cabe observar que, a instalação provisória de canteiro de obra em contêineres que não oferece o mínimo de conforto ao trabalhador. Instalações em contêineres serão aceitas em áreas de vivência de canteiro de obras e frentes de trabalho, desde que cada módulo possua área de ventilação natural, efetiva, de no mínimo 15% (quinze por cento) da área do piso, composta por, no mínimo, duas aberturas adequadamente dispostas para permitir eficaz ventilação interna, garanta condições de conforto térmico, além de garantir os demais requisitos mínimos de conforto e higiene estabelecidos na NR18.

Figura 4: Preferência permanecer fora do contêiner



Fonte: O autor

Observa-se trabalhadores na hora do almoço que preferem não permanecer no interior do contêiner. As pessoas utilizando de espaços no interior da obra almoçavam e em seguida deitavam no mesmo local para um descanso - Figura 4. Assim, o conforto térmico do contêiner gerava um desconforto para sua utilização, evidenciado no local.

2.2 CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

Nas duas últimas décadas a tecnologia do concreto sofreu um grande desenvolvimento que, segundo diversos pesquisadores, se deve à evolução das

técnicas e equipamentos para estudo dos concretos e ao uso de novos materiais. Esses novos materiais, entre os quais se destacam os aditivos redutores de água e as adições minerais, possibilitaram melhorias significativas nas propriedades relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade dos concretos.

Na habitação pré-fabricada, cuja característica é produção em série, como foi o caso de Casas para os Trópicos de Habitação Pré-Fabricada de Niamey e Brazzaville, executados em Portugal, foi admitido o panorama de evolução dos princípios da vida sem alterar aspectos culturais. A preocupação foi criar um sistema eficiente prático e econômico para atender problema de carência habitacional das ex-colônias francesas do Níger e do Congo.

A industrialização da construção pode ser percebida por esta definição: “Só existe industrialização se houver uma tecnologia mecanizada envolvida no processo” (HUTH, 1976). Alguns outros conceitos estão relacionados com a industrialização, como a racionalização, indispensável na industrialização. Racionalizar a produção significa estudar seus métodos a fim de reduzir o tempo de trabalho e se conseguir melhor produtividade e rentabilidade.

A construção civil possui processos que apresentam alto nível de desperdício de materiais e mão de obra, bem como baixos níveis de qualidade e produtividade, por essas razões vem sendo considerada uma indústria atrasada. Uma das formas de se aperfeiçoar e racionalizar a construção civil seria utilizar elementos pré-fabricados. (HUTH, 1976).

As construções provisórias incluem não somente as edificações como as que delimitam o canteiro, normalmente constituídas por áreas de vivência, escritório administrativo, almoxarifado, refeitório, tapumes, etc. A Norma Regulamentadora NR-18 (2012), traz um capítulo específico sobre as áreas de vivência, assim como outro sobre tapumes e galerias, cobrindo adequadamente as questões de higiene e segurança no trabalho.

No Brasil existem outros sistemas em pré-fabricados, que podem ser utilizados em canteiros de obras. Independente do sistema utilizado, é obrigação respeitar-se e obedecer à legislação. Tem-se a NR-18 que recomenda as instalações provisórias de canteiro de obras, áreas de vivência e escritório da indústria da construção civil e específica como esses ambientes devem ser construídos, objetivando o campo de aplicação.

A observância do estabelecido não desobriga os empregadores do cumprimento das disposições relativas às condições e ambiente de trabalho, concomitantemente na legislação federal, estadual e/ou municipal, e em outras estabelecidas em negociações coletivas de trabalho.

2.3 ÁREAS DE VIVÊNCIA

Em locais de refeições, cozinha, quando houver preparo de refeições, lavanderia, área de lazer, ambulatório, o cumprimento do disposto é obrigatório. O mesmo vale para instalações móveis, inclusive contêineres, que serão aceitos em áreas de vivência de canteiro de obras e frentes de trabalho desde que cada módulo de instalações atenda à NR18 (Alterada pela Portaria SIT n.º 30, de 13 de dezembro de 2000).

Para garantir os demais requisitos mínimos de conforto e higiene estabelecidos, na NR 18, deve-se levar em conta a ABNT NBR 15575, que vem contemplar a orientação sobre ambiente de vivência, no que preconiza o mínimo de conforto do local de vivência em uma obra.

Nas instalações móveis, inclusive contêineres, que servem como alojamento, as camas duplas, tipo beliche, a altura livre entre uma cama e outra é, no mínimo, de 0,90m (noventa centímetros), (Incluído na Portaria SIT nº 30, de 13 de dezembro de 2000).

Tratando-se de adaptação de contêineres, originalmente utilizados no transporte ou acondicionamento de cargas, deverá ser mantido no canteiro de obras, à disposição da fiscalização do trabalho e do sindicato profissional, laudo técnico elaborado por profissional legalmente habilitado, relativo à ausência de riscos químicos, biológicos e físicos (especificamente para radiações) com a identificação da empresa responsável pela adaptação.

De acordo com o exposto na análise do canteiro de obras, no estudo de caso feito por MENESES & RIBEIRO (2006), há o relato de uma obra na segunda etapa da construção, com relação à NR- 18, sendo a obra de responsabilidade da construtora, em que é evidente que se encontram em condições inadequadas em segurança no trabalho e instalações do canteiro de obras. Isso porque a empresa não estabeleceu uma política de planejamento, organização, qualidade e

segurança no trabalho. Essa análise vem confirmar a necessidade de um projeto de canteiro de obras e gerenciamento do ambiente de trabalho que venha melhorar a organização e a qualidade de vida, o mínimo a ser feito para que isto ocorra é a elaboração do PCMAT, (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho).

No entanto, segundo ARAÚJO (1998), os custos relativos à implantação do PCMAT (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho) são em torno de 1,49% do custo total da obra. Já estudos realizados por FORMOSO (2007), *apud* MENEZES & SERRA (2003), mostram que os custos de segurança, quando da instalação de um canteiro, representam 0,84% do custo total de uma obra. Dessa forma, percebe-se que o estudo é necessário.

A análise das áreas de vivência em canteiros de obra constitui um importante fator a fim de minimizar os riscos à saúde dos trabalhadores e outros, em face ao percentual de valores reduzidos que a implantação do sistema de saúde e segurança do trabalho representa em relação ao custo total da obra.

2.4 PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO

Desde a antiguidade o homem tem buscado diferentes maneiras de aperfeiçoar os tipos de atividades produtivas que realiza, principalmente as que precisam ser executadas em larga escala. Dessa necessidade, surgiu a industrialização, que é o aperfeiçoamento de uma determinada atividade a fim de executá-la de maneira contínua e com maior produtividade, por meio da utilização de técnicas e procedimentos que tragam maior velocidade e menores custos ao processo empregado.

Na construção civil, a industrialização surgiu com a necessidade de construir edifícios mais rapidamente e sem grande capital inicial, como no caso dos países destruídos na primeira guerra mundial. Os processos utilizados na construção civil, a fim de sanar essas necessidades são chamados de Processos Construtivos Industrializados. O surgimento desses processos vem do final da Primeira Guerra Mundial, devido à necessidade de reconstrução dos países destruídos.

Para FERREIRA (2009) esses processos são, atualmente, amplamente difundidos e utilizados na construção civil, e o seu principal objetivo é obter maior eficiência e menores custos de produção. O grau de industrialização de um

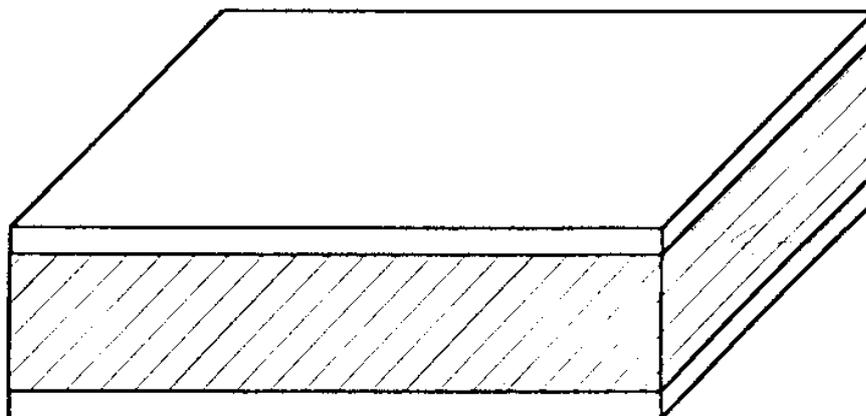
processo pode ser medido pelo seu nível organizacional, e isso é avaliado através de um indicador que faz a relação entre consumo de mão de obra por unidade de área construída. Então, surge o conceito de Construção Industrializada que é a construção com emprego de processos industrializados FERREIRA (2009).

2.4.1 PAINEL TIPO SANDUÍCHE

No Brasil, e de acordo com BERTINI (1995), durante a Segunda Guerra Mundial, os painéis sanduíche eram utilizados em estruturas de aviões devido sua leveza e resistência. É recente o maior emprego desse painel, na construção civil, em edificações.

Uma construção tipo sanduíche, Segundo BERTINI (1995), corresponde a uma combinação de materiais simples ou compostos, ligados entre si de forma que suas características garantam vantagens estruturais ao conjunto. Na Figura 5 pode-se observar um tipo simples de sanduíche, composto por duas camadas resistentes e um núcleo de material menos denso e menos resistente.

Figura 5: Painel sanduíche



Fonte: Bertini (1995)

Dependendo do emprego do painel, o núcleo pode ser responsável pela transferência de esforços e pela manutenção da distância correta entre as camadas. Nesse caso, o material do núcleo deve ter rigidez suficiente para que resista ao cisalhamento, evitando o escorregamento das camadas. Em outros casos, o painel pode ter a função de apenas garantir o conforto térmico e acústico, sendo

a função estrutural destinada aos conectores ou nervuras FERREIRA (2009).

Na Europa os painéis “Sandwich” em pré-moldados de concreto são muito utilizados para reduzir os custos de energia de construção na sua fabricação, onde verifica-se um melhor desempenho, além de serem ambientalmente corretos. Na análise do ciclo de vida e do desempenho, ao longo do tempo, de um edifício, deve ser considerado nas estruturas modernas, com redução na emissão de CO₂ e no uso de aparelhos de ar condicionado Figura 6.

Figura 6: Exemplo de painel sanduíche



Fonte: Fib 41 (2004).

O painel tipo sanduíche é usado em grandes obras de edifícios residenciais e comerciais. Os painéis já vêm prontos e acabados da indústria. Os painéis, após sua fabricação, são acondicionados em depósito até que se tenham todos os painéis da edificação Figura 6.

2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Devido à sua elevada massa térmica e propriedades isolantes, painéis sanduíche pré-moldados são capazes de proporcionar um ambiente mais

confortável, com a redução da temperatura interna devido às flutuações de temperaturas externas em diferentes regiões do Brasil.

Essa consistência de resultados da temperatura interna levam a uma redução na energia consumida e mantém um ambiente com temperatura confortável. O desempenho do painel de vedação ou estrutural em atrasar a onda de calor Figura 7, para o interior do ambiente, é de fundamental importância. O ambiente deixará de consumir energia para manter a temperatura conveniente.

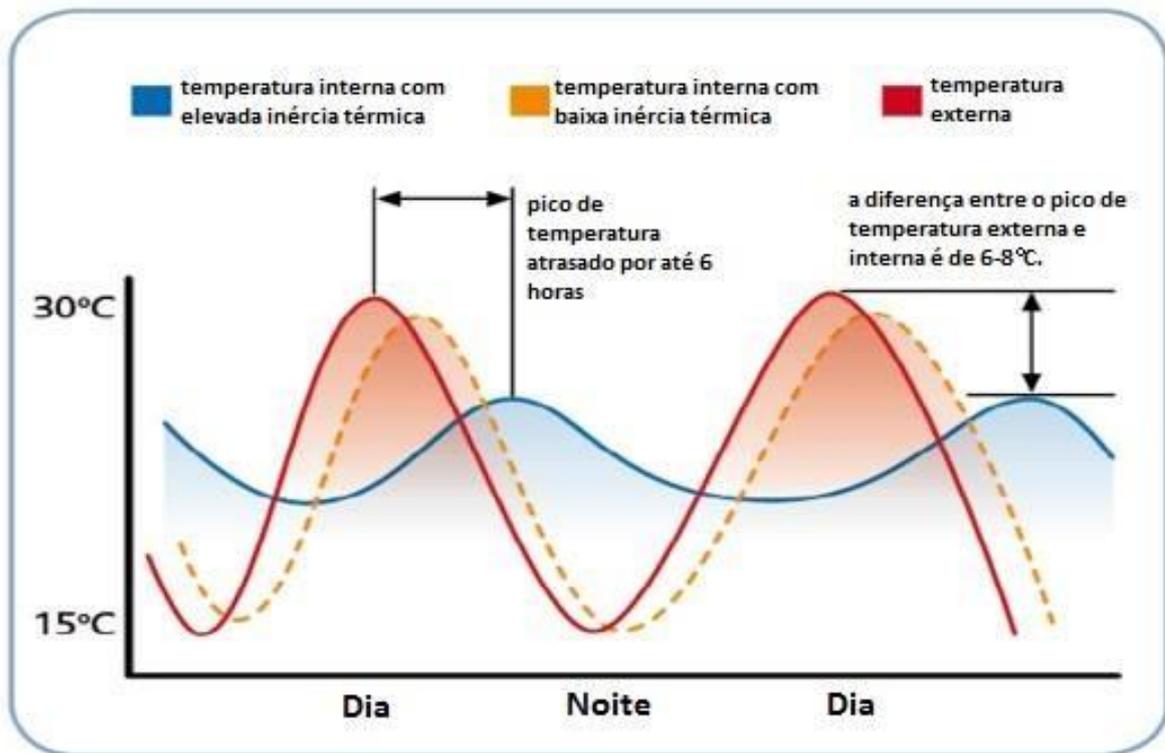
A camada de concreto usada para paredes formadas por painéis de vedação ou painéis estruturais são usadas para dividir com ambiente, dimensionadas para que o painel desempenhe sua função, atraso da onda térmica (Fib 41, 2004).

O calor que é absorvido pelo painel durante o dia é libertado para o interior do edifício durante a noite, quando as temperaturas externas caem.

O painel sanduíche pré-moldado permite a flexibilidade e variação térmica dos requisitos de desempenho em diferentes zonas climáticas ou para diferentes requisitos de conformidade.

A geometria e propriedades do componente podem ser variadas para atingir o nível de desempenho desejado, em qualquer parte ou região com diferentes climas (Fib 41, 2004).

Figura 7: Atraso da onda de calor devido à massa térmica do concreto



Fonte: Fib 41, (2004).

A massa térmica é medida como o valor em que um material é capaz de armazenar energia e liberá-lo para o meio ambiente, conforme necessário.

O concreto possui uma grande capacidade volumétrica de calor, comparando-o com qualquer material de construção, e proporciona benefícios significativos em amenizar a temperatura no interior de edificações.

O ambiente interno resultante é comumente aceito como um espaço mais confortável, sem a necessidade de ser aquecido ou resfriado artificialmente.

O resultado dessa elevada massa térmica é a redução de forma significativa a necessidade do consumo de energia ABNT NBR 15520:2012.

2.6 DIMENSIONAMENTO - CONFORTO TÉRMICO

As equações utilizadas na Europa ou no Brasil praticamente são as mesmas.

$$U=1/(R1+ R2 + R3 + Ro +Ri) \quad (\text{equação 01})$$

$$R1=d1/\lambda1,...Ri + Ro \quad (\text{equação 02})$$

d: espessura;

U: Desempenho térmico;

m2: área do painel a ser considerado;

K: Graus kelvin;

λ : Condutividade térmica com os valores de condutividade térmica certificados

R: resistência térmica.

A tabela 1, a seguir, mostra alguns resultados de “U” para painéis pre-fabricados sanduíche isolados. Resistência térmica das superfícies exteriores e interiores igualmente.

Tabela 1: Características de alguns materiais quanto ao seu isolamento

ISOLAMENTO	λ_{design} W/mK	U= 0,24	U=0,17	U= 0,14	U= 0,09
		Thickness of insulation (mm)			
Lã MINERAL	0,037	160	230	280	430
EPS	0,036	150	220	260	410
	0,031	130	190	230	360
XPS	0,037	160	220	270	420
PUR/ PIR	0,026	110	160	190	300
	0,023	100	140	170	270

Fonte: Fip 41, (2004)

Cálculo dimensional

$$U= q/ \Delta T,$$

(equação 03)

Onde:

U: Desempenho térmico;

q: Intensidade do fluxo de calor [W/m²]

ΔT : diferença de temperatura entre face externa e interna da estrutura °C.

2.7 SISTEMAS PROVISÓRIOS EM CANTEIROS DE OBRA

Neste trabalho será dada ênfase nos seguintes sistemas construtivos existentes mais utilizados para construção de instalações provisórias, que:

- 1 Contêineres metálicos, de custo relativamente baixo, são peças descartadas de carregamentos de navios, com custos relativamente baixo;
- 2 Fibra de vidro de alto custo e mão de obra especializada, cujo custo também é alto;
- 3 Alvenaria cerâmica de vedação, com custos relativamente baixos, no entanto utiliza mão de obra em 60% do custo de materiais;
- 4 Instalações em chapas de madeirit, cujo custo dos materiais dependendo da qualidade, pode ser considerado alto, e o custo da mão de obra para montagem, relativamente baixo;
- 5 Instalações provisórias de madeiras OSB, encontra-se material caro e mão de obra caro;
- 6 O sistema que está-se propondo possui uma séria de vantagens, e algumas desvantagens também são observadas. Exige precisão das formas no alinhamento e aprumos, podendo ser comparado com os demais sistemas existentes.

2.7.1 ASPECTOS QUE CARACTERIZAM OS SISTEMAS CONSIDERADOS

As instalações de canteiro de obras são uma prática onde a maioria das existentes não segue os requisitos estabelecidos pela legislação Brasileira, no que tange principalmente à ABNT NBR 15575 e grande parte do que preconiza a NR18. Após alguns dados colhidos, pode-se comparar os quesitos principais entre os sistemas existentes e o sistema que está sendo proposto para instalações provisórias de canteiro de obra.

Dessa forma, os seguintes aspectos serão considerados em cada sistema:

- a) **Auto-Construção:** preparar o material e montar;
- b) **Reaproveitamento:** após a utilização, a possibilidade de desmonte e transporte para outro lugar sem perdas de materiais e sem gerar resíduos

- significativos;
- c) **Modulação:** modular de acordo com as características do terreno, e adaptar para melhor aproveitamento do espaço disponível;
 - d) **Conforto térmico:** proporcionar ao trabalhador um local de descanso e vivência, observando os quesitos encontrados na ABNT NBR15575 e NR 18;
 - e) **Rapidez na execução:** montagem que não depende de muitas pessoas e de apenas de um manual de montagem, que possibilite a autoconstrução em poucos dias;
 - f) **Segurança:** proporcionar segurança contra impactos, incêndio e/ou depredações;
 - g) **Adaptabilidade:** adequar a instalação em função do espaço disponível, utilizando modulações;
 - h) **Custos:** custo benefício em relação ao uso de um sistema que permita desmontar e montar, reaproveitando o mesmo material sem gerar resíduos e sem perda de material. Ao longo da vida útil, o sistema ainda está em uso, diluindo seu custo;
 - i) **Durabilidade:** material de concreto é durável ao longo de 50 ou mais anos;
 - j) **Resíduos:** com a preocupação constante como o meio ambiente, é necessário um sistema que não venha gerar resíduos significativos;
 - k) **Acústica:** um sistema que não provoque ao trabalhador ruídos acima do que preconiza a legislação;
 - l) **Incêndio:** dificultar a possibilidade de princípios de incêndios, trazendo maior segurança ao ambiente de trabalho dos administradores;
 - m) **Conforto Térmico:** transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa. O atraso térmico varia de região para região. Considerando a região de São Carlos denominada região 4 pela condição do clima da cidade, a ABNT NBR15220, na tabela 11, estabelece que as paredes devem ser pesadas e coberturas leves. Com transmitância térmica da parede $U \leq 2,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, um atraso térmico $\phi \geq 6,5 \text{ h}$ e de um fator solar $F_{So} \leq 3,5$;
 - .n) **Estrutura:** que atenda às condições de serviço e estado limite último, para as solicitações existentes;
 - o) **Estanqueidade:** que as águas projetadas da chuva não venham a

- prejudicar o interior do ambiente de trabalho, com umidade ou infiltrações;
- p) Corpo mole: resistência mínima preconizada pela ABNT NBR 15575, que é um impacto de 40kg sobre a parede, com altura de 30cm, sem provocar dano significativo;
- q) Corpo duro: resistência mínima que preconiza a ABNT NBR 15575, que é um impacto de 1,0kg à uma altura de 1,0m, sem provocar dano significativo.
- Observam-se pontos positivos observados nos itens de “a” até “i” e de “n” até “q” tem-se como ponto negativo “m”, em que a norma preconiza um atraso Térmico para cidade de São Carlos de 6,5h, no entanto foi obtido numericamente 2,2h.

2.7.2 UTILIZAÇÃO DE CONTÊINERES METÁLICOS PARA CANTEIRO DE OBRA

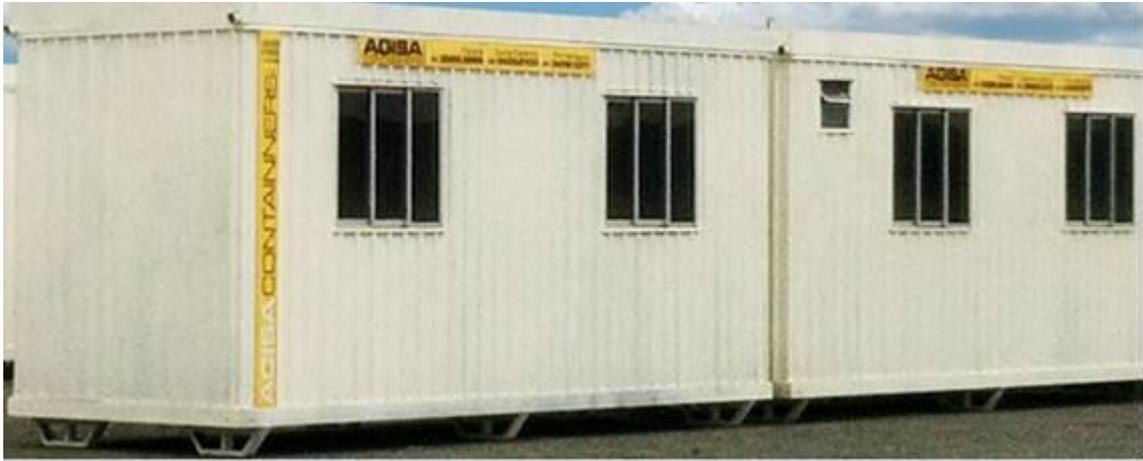
Os contêineres são construções metálicas pré-fabricadas, erguidas a partir de um chassi de perfis metálicos, composto por duas longarinas e três transversinas, responsável por, praticamente, toda resistência do conjunto. Sobre esse chassi são montadas as quatro laterais, e posteriormente a cobertura é fixada por meio de parafusos e rebites e/ou solda.

Essas laterais são de chapas de aço de 0,65 mm de espessura. O transporte é feito por caminhão guindaste, e deve-se prever local de acesso para retirada dos contêineres no futuro Figura 8.

O alto custo inviabiliza a locação para períodos muito longos, e no caso da compra do contêineres, a maior desvantagem é o desconforto, tanto térmico quanto acústico, podendo ser minimizado através de uso de revestimentos especiais, porém, com aumento significativo de custos. (Birbijm, 2003).

Analisando as características do sistema citado, tem-se situação observada que as instalações provisórias em contêineres têm um padrão superior e aparência mais organizada em relação às instalações provisórias convencionais em madeira, ainda assim, alguns problemas são observados, tais como, escritórios com aberturas insuficientes para ventilação, problemas de conexão com as redes, pisos com água empoçada (em áreas molhadas), além de soluções improvisadas para vencer desníveis do terreno, (RODRIGO G. Adriana, 2006).

Figura 8: Uso de contêineres metálicos para instalações provisórias



Fonte: <http://www.agisacontainers.com.br>

Um fabricante de contêiner de qualidade superior diz utilizar XPS, poliestireno extrudado, para isolamento termo acústico. Nas próximas etapas da pesquisa, será averiguada a resposta em termos de desempenho térmico e acústico desse material.

Analisando as características do sistema citado, tem-se que:

- a) **Auto construção:** os contêineres metálicos são fabricados em metalúrgicas ou reaproveitados do transporte marítimo, portanto, com impossível auto construção;
- b) **Reaproveitamento:** sim, o contêiner é reaproveitado;
- c) **Modulação:** possui modulação 3mx3m ou 3mx6m;
- d) **Conforto:** não possui conforto termo-acústico, sem que se faça um tratamento, e para atender a norma os custos são elevados;
- e) **Rapidez na execução:** muito rápido, simplesmente transportado no caminhão e posto no local adequado;
- f) **Segurança:** seguro, pois é construído em chapa de aço;
- g) **Adaptabilidade:** não é adaptável, pelo fato de se obter apenas em dois tipos de modulação;
- h) **Custo:** inicialmente o custo é baixo, mas para seguir as normas de desempenho o custo se eleva consideravelmente, devido aos isolamentos tanto térmico como acústico, para permitir conforto aos trabalhadores;

- i) **Durabilidade:** durável, porém exigem manutenção anti-ferrugem;
- j) **Resíduos:** não gera resíduos;
- k) **Acústica:** não atende a norma ABNT NBR 15575, caso não seja feito isolamento;
- l) **Incêndio:** até o instante, não há informações disponíveis;
- m) **Conforto Térmico:** até o instante não há informações disponíveis;
- n) **Estrutura:** até o instante não há informações disponíveis;
- o) **Estanqueidade:** até o instante não há informações disponíveis;
- p) **Corpo mole:** até o instante não há informações disponíveis;
- q) **Corpo duro:** até o instante não há informações disponíveis;

Conclui-se que em função de sua modulação, 3mx3m ou 3mx6m, não facilita uma disposição melhor quando não se tem uma situação em que o terreno não dispõe uma área que o container possa ser usado.

O transporte depende de caminhão que tenha munk para poder carregar e descarregar no local da obra. Pode-se reaproveitar o mesmo contêiner em outro canteiro, sem gerar resíduos.

Seu conforto térmico-acústico deve ser feito com isolamento para que se tenha um desempenho que atenda à ABNT NBR 15575, sendo que isto se torna oneroso. Não encontram-se ensaios além do acústico feito por MIAM (2013).

2.7.3 UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE VIDRO PARA INSTALAÇÃO PROVISÓRIA

É um sistema modular, composto por duas chapas finas de fibra de vidro, separadas por uma placa de isopor, e com abas metálicas, resultando com bom característico de isolamento termo-acústico, que pode ser melhorada com forro de isopor.

As placas são autoportantes, não necessitando de nenhuma estrutura complementar para vãos de até 7,0m.

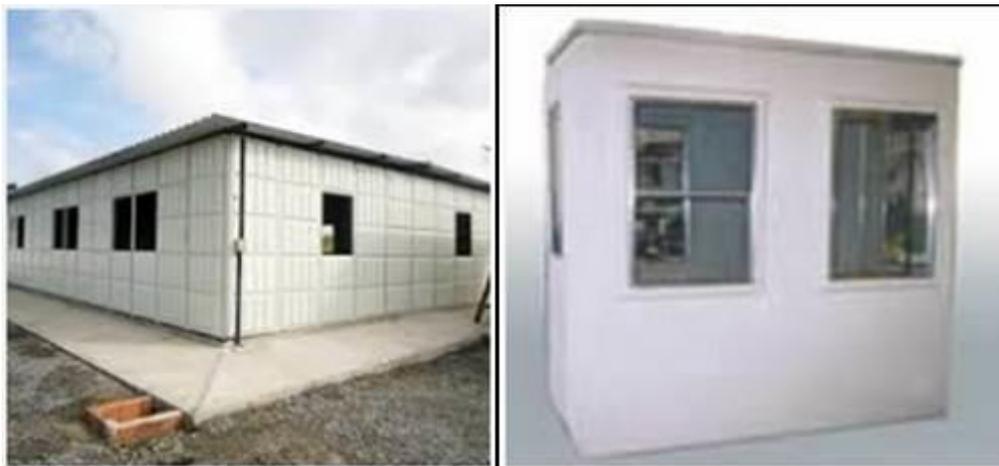
Não necessita de fundações, devido a sua leveza. É feito um contra-piso onde são fixadas as placas de fibra de vidro, utilizando buchas de nylon e parafusos e as placas são fixadas com parafusos nas abas laterais.

O material pode ser recondicionado facilmente.

A fabricação da fibra de vidro ocorre com componentes químicos que para sua manipulação depende de mão de obra especializada, dificilmente encontrada na construção civil.

A Figura 9 mostra um exemplo de utilização de painel de fibra de vidro, adaptado para uso em instalações provisórias.

Figura 9: Instalações provisórias em fibra de vidro



Fonte: http://www.aecweb.com.br/prod/e/canteiro-sustentavel_23599_24285

Fixado um beiral no seu contorno formando uma cinta ligando toda a estrutura. As tesouras são fabricadas de tubos de ferro, e sobre estas são fixadas telhas brancas de fibra de vidro.

O sistema é vantajoso em ambientes agressivos, pois não enferruja nem mesmo apodrece, seu visual é limpo e moderno. Rapidez na montagem e desmontagem, os reparos são feitos facilmente com massa plástica. A grande desvantagem do sistema está no custo inicial extremamente elevado (Souza, 2004).

Analisando as características do sistema citado, tem-se que:

- a) **Auto Construção:** a fabricação é por pessoas especializadas, e não permite a auto construção;
- b) **Reaproveitamento:** o material usado para construção provisória permite o reaproveitamento, reparos por pessoal especializado;
- c) **Modulação:** permite modulação;
- d) **Conforto:** não atende a norma de desempenho;

- e) **Rapidez na execução:** sim;
- f) **Segurança:** não;
- g) **Adaptabilidade:** sim;
- h) **Custos:** alto, tanto para os materiais como para a mão de obra;
- i) **Durabilidade:** é durável;
- j) **Resíduos:** produz baixa quantidade de resíduos;
- k) **Acústica:** até o instante não há informações disponíveis;
- l) **Incêndio:** até o instante não há informações disponíveis;
- m) **Conforto Térmico:** até o instante não há informações disponíveis;
- n) **Estrutura:** até o instante não há informações disponíveis;
- o) **Estanqueidade:** até o instante não há informações disponíveis;
- p) **Corpo mole:** até o instante não há informações disponíveis;
- q) **Corpo duro:** até o instante não há informações disponíveis;

Conclui-se que existem possibilidades de modulação, e adequação em função do espaço disponível no canteiro. Sua montagem depende de pessoas especializadas para manipular os componentes químicos.

Sua desmontagem e transporte e remontagem também dependem de pessoal especializado; as peças são frágeis, mas podem ser remendadas quando necessário, geram pouco resíduo. O material e sua manipulação são onerosos. Não encontramos ensaios realizados na bibliografia sobre o assunto.

2.7.4 UTILIZAÇÃO DA ALVENARIA CERÂMICA PARA INSTALAÇÃO PROVISÓRIA.

As construções temporárias em alvenaria seguem os mesmos padrões das construções em alvenaria definitivas. Executadas com alvenaria, argamassa de assentamento, chapisco, reboco e pintura quando executadas.

O telhado com telhas de fibrocimento tem como grande desvantagem o custo elevado, e, a execução das paredes apresenta um grande tempo de execução e baixo reaproveitamento dos materiais, quando comparado com os outros sistemas.

As vantagens são a durabilidade, resistência aos impactos, conforto termo acústico e segurança patrimonial já conhecido no sistema habitacional, no entanto a opção pouca encontrada em canteiro de obras Figura 10.

Torna-se oneroso devido custo da mão de obra e grande geração de resíduos, fator determinante para seu uso como instalações provisórias em canteiro de obras (Souza, 2004).

Figura 10: Uso da alvenaria cerâmica para instalações provisórias



Fonte: O autor

Analisando as características do sistema citado, tem-se que:

- a) **Auto Construção:** a execução é por pessoas especializadas, porém permite a autoconstrução;
- b) **Reaproveitamento:** não permite o reaproveitamento;
- c) **Modulação:** permite modulação;
- d) **Conforto:** não atende a maioria dos itens da norma de desempenho;
- e) **Rapidez na execução:** não;
- f) **Segurança:** sim;
- g) **Adaptabilidade:** sim;
- h) **Custos:** alto, tanto para os materiais como para a mão de obra;
- i) **Durabilidade:** é durável;
- j) **Resíduos:** produz Grande quantidade de resíduos;
- k) **Acústica:** até o instante não há informações disponíveis;
- l) **Incêndio:** até o instante não há informações disponíveis;
- m) **Térmico:** até o instante não há informações disponíveis;
- n) **Estrutura:** até o instante não há informações disponíveis;
- o) **Estanqueidade:** até o instante não há informações disponíveis;
- p) **Corpo mole:** até o instante não há informações disponíveis;

q) **Corpo duro:** até o instante não há informações disponíveis;

Conclui-se que existem possibilidades de modulação, e de adequação em função do espaço disponível no canteiro. Sua montagem depende da própria mão de obra existente na indústria da construção civil. Dificilmente esse tipo de instalação provisória é desmontada e reaproveitada, devido a sua alta geração de resíduos. Não encontram-se ensaios realizados na bibliografia sobre instalações de canteiro de obras.

2.7.5 UTILIZAÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA COMPENSADA

As divisórias dos ambientes bem como o fechamento externo são executadas com chapas de madeira compensada fixadas em pontaletes de madeira, normalmente posicionados a cada 1,10m. O sistema possui um baixo custo inicial, seu método executivo é muito simples e difundido. Como as chapas possuem normalmente 2,20m de altura e por 1,10m de largura, seu pé-direito é bem menor que alturas convencionais, normalmente com a parte superior aberta, fazendo com que praticamente não exista vedação, e possua baixo conforto termo-acústico. Seu reaproveitamento praticamente não existe (MIAM, 2013). A espessura e qualidade do produto de chapas compensadas denominadas maderit é muito variável, os custos variam bastante Figura 11. Os benefícios para obras de tempo reduzido são largamente utilizados dentro da indústria da construção civil, o material é frágil e de alta combustão, proporcionando baixa segurança e altos riscos de incêndio (MIAM, 2013).

Figura 11: Instalação provisória em chapa de madeira



Fonte: O autor

Verificou-se que em nenhum caso atende à Norma de Desempenho ABNT NBR 15575, em visita em mais de 20 locais de obra, em cada localidade e em várias cidades como Curitiba/PR, Maringá/PR, Guarapuava/PR, São Carlos/SP, Londrina/PR, Ourinhos/SP, Campinas/SP.

Segundo entrevista com os usuários, sobre desempenho do sistema, a resposta foi praticamente unânime a respeito do conforto e desconhecimento sobre o assunto presente na ABNT NBR 15575.

As instalações são montadas sem visar conforto ao trabalhador, como sendo obra provisória e de curto espaço de tempo, as instalações, na maioria delas, são de forma precária e desumana e o trabalhador não é tratado de forma digna em seu ambiente de trabalho.

A parte que é de oferecer o mínimo de conforto não é levada em consideração a quem trabalha na construção civil.

Na maioria das instalações provisórias em canteiro de obra, quando o empreendimento é finalizado, essas instalações são demolidas e descartadas em lixão, provocando aí enorme agressão ao meio ambiente.

Observa-se que este sistema utilizando madeirite não apresentado, de forma alguma o uso desse sistema não se pode apresentar um sistema que não atenda às necessidades do trabalhador, apesar de ser obra de fácil de se construir e não reaproveitável, as perdas, economicamente inviável.

Com geração de enormes quantidades de resíduos.

Analisando as características do sistema citado, tem-se que:

- a) **Auto Construção:** não permite a autoconstrução;
- b) **Reaproveitamento:** não permite o reaproveitamento;
- c) **Modulação:** permite modulação;
- d) **Conforto:** não atende a maioria dos itens da norma de desempenho;
- e) **Rapidez na execução:** sim;
- f) **Segurança:** não;
- g) **Adaptabilidade:** sim;
- h) **Custos:** alto tanto de materiais como de mão de obra;
- i) **Durabilidade:** não é durável;
- j) **Resíduos:** produz grande quantidade de resíduos;
- k) **Acústica:** não atende a ABNT NBR 15575;
- l) **Incêndio:** até o instante não há informações disponíveis.
- m) **Térmico:** até o instante não há informações disponíveis.
- n) **Estrutura:** até o instante não há informações disponíveis.
- o) **Estanqueidade:** até o instante não há informações disponíveis.
- p) **Corpo mole:** até o instante não há informações disponíveis.
- q) **Corpo duro:** até o instante não há informações disponíveis.

Conclui-se que em instalações provisórias de canteiro de obras utilizando chapas de madeirit existem possibilidades de modulação e adequação em função do espaço disponível no canteiro.

Sua montagem depende da própria mão de obra existente na indústria da construção civil.

Difícilmente esse tipo de instalação provisória é desmontada e reaproveitada, devido a sua alta geração de resíduos.

Não encontram-se ensaios realizados na bibliografia sobre instalações de canteiro de obras.

2.7.6 UTILIZAÇÃO DE MADEIRA OSB (ORIENTED STRAND BOARD)

O uso da madeira beneficiada em canteiro de obra, não sendo certificada, seu uso é crime ambiental, se for certificada os custos da matéria são elevados, bem como o da mão de obra para execução de um canteiro, que também é elevado.

No final de uso, gera resíduos e as peças praticamente sem reaproveitamento.

A Figura 12 mostra um exemplo de utilização de placas de madeira OSB para uso em instalações provisórias.

Figura 12: Fachada do canteiro de obra com material USB



Fonte: O autor

Analisando as características do sistema citado, tem-se que:

- a) **Auto Construção:** não permite a autoconstrução;
- b) **Reaproveitamento:** é possível haver parte de reaproveitamento em outro canteiro;
- c) **Modulação:** permite modulação;
- d) **Conforto:** não foi encontrado ensaios na bibliografia para instalações provisórias;
- e) **Rapidez na execução:** é de rápida execução;
- f) **Segurança:** é seguro;
- g) **Adaptabilidade:** sim;
- h) **Custos:** alto custo, tanto dos materiais como de mão de obra;

- i) **Durabilidade:** limitado a sua vida útil;
- j) **Resíduos:** produz grande quantidade de resíduos;
- k) **Acústica:** atende a ABNT NBR 15575:2013;
- l) **Incêndio:** até o instante não há informações disponíveis;
- m) **Térmico:** até o instante não há informações disponíveis;
- n) **Estrutura:** até o instante não há informações disponíveis;
- o) **Estanqueidade:** até o instante não há informações disponíveis;
- p) **Corpo mole:** até o instante não há informações disponíveis;
- q) **Corpo duro:** até o instante não há informações disponíveis;

Conclui-se que em instalações provisórias de canteiro de obras utilizando OSB, o material é de boa qualidade e resistente, existe possibilidades de modulação, se adequando em função do espaço disponível no canteiro. Sua montagem depende da própria mão de obra existente na indústria da construção civil (carpintaria). É possível montar, usar em instalações provisórias, desmontar para ser utilizado em outro canteiro e com baixa geração de resíduos. Não encontram-se ensaios realizados na bibliografia sobre instalações de canteiro de obras.

Os resultados encontrados no levantamento feito por Fabio Miam (2013), no estudo sobre ruídos em instalações provisórias de canteiro de obra através das diferenças entre os ruídos externos e internos observa-se que a média para o estado de vedação totalmente fechadas e totalmente abertas.

Tabela 2: Obras de instalações provisórias

Tpo de Obra	Tpologia da obra
Obra 1	madeirit
Obra 2	madeirit
Obra 3	container metálico
Obra 4	madeirit
Obra 5	madeira OSB
Obra 6	container metálico
Obra 7	isolante acústico
Obra 8	madeirit
Obra 9	container metálico
Obra 10	madeira OSB + estrutura metálica

Fonte: MIAM (2013)

Segundo Fabio Miam (2013), através dos estudos referentes aos tipos de obra (Tabela 2), realizados tanto na Pesquisa “Nível de Isolamento Acústico em Fachadas e Vedações – “Medições em Campo com uma Análise de Desempenho Acústico de Escritórios em Canteiro de Obra”, foram desenvolvidas diversas ferramentas, com o objetivo de auxiliar a análise das interferências que a acústica possui dentro do processo construtivo.

Com isso, consideraram-se ferramentas principais, que podem ser incluídas dentro do escopo da análise acústica, efetivamente, para medições em campo, mas também para análises em laboratório.

Aspectos de medições de ruídos, feito em algumas instalações provisórias para canteiro de obras como segue na Tabela 03, nos resultados encontrados através das diferenças entre os ruídos externos e internos, observa-se que a média para o estado de vedação totalmente fechada é de 14dB, enquanto que para a vedação totalmente aberta é de 8,7dB.

Tabela 3: Dados acústicos obtidos nas medições internas

Obras	Material da Tipologia	Área de Piso (m ²)	Volume do Ambiente (m ³)	Laeq Externo (dB)	Laeq Interno (dB)	TR500 (s)	TR 1000 (s)	TR médio (s)	Tr Ótimo (s)	Isolamento (dB)
Obra 1	madeirit	6,93	20,79	43,48	38,30	0,45	0,34	0,395	0,5	4,16
Obra 2	madeirit	22,65	71,34	47,77	43,58	0,82	0,52	0,67	0,5	5,46
Obra 3	contêiner metálico	11,66	26,83	43,48	38,30	0,41	0,34	0,375	0,5	3,93
Obra 4	madeirit	7,32	22,33	44,64	43,84	0,47	0,37	0,42	0,5	0,04
Obra 5	madeira OSB	19,03	45,68	63,25	54,19	0,44	0,49	0,465	0,5	8,74
Obra 6	contêiner metálico	24,63	59,11	57,51	54,41	0,46	0,39	0,425	0,5	2,39
Obra 7	isolante acústico	13,75	32,99	55,61	41,54	0,27	0,25	0,26	0,5	11,23
Obra 8	madeirit	7,18	18,82	55,92	52,98	0,34	0,33	0,335	0,5	1,20
Obra 9	contêiner metálico	8,04	18,89	66,63	58,66	0,24	0,31	0,275	0,5	5,37
Obra 10	madeira OSB + estrutura metálica	34,56	81,22	62,48	48,21	0,36	0,43	0,395	0,5	13,24

Fonte: MIAM (2013)

Este resultado já indica que o sistema de esquadria fechada possui maior isolamento acústico que na situação de esquadria aberta, sendo:

Tr: tempos de reverberação;

Tro: tempo ótimo de reverberação;

Rw: índice de redução sonora ponderada dB;

(L_{Aeq}): obtenção dos níveis de ruídos Interno e externo.

Com estes dados coletados foram calculados os isolamentos de cada tipologia apresentada nas diferentes obras. Para o cálculo ser realizado, foi medido e considerado o tempo de reverberação de cada unidade interna.

Os valores finais de isolamento e seu respectivo tempo de reverberação estão indicados na Tabela 3.

Os resultados referentes a esta situação foram obtidos da mesma forma como foi feita para a esquadria fechada, ou seja, com o tempo de reverberação e o isolamento acústico estão representados na (tabela 4).

Tabela 4: Instalações provisórias - esquadria fechada

Obras	Material da Tipologia	Área de Piso (m ²)	Volume do Ambiente (m ³)	Laeq Externo (dB)	Laeq Interno (dB)	TR500 (s)	TR1000 (s)	TR médio (s)	Tr ótimo (s)	Isolamento (dB)
Obra 1	madeirit	6,93	20,79	41,71	36,53	0,41	0,34	0,375	0,5	3,93
Obra 2	madeirit	22,65	71,34	39,29	35,45	0,83	0,59	0,71	0,5	5,36
Obra 3	container metálico	11,66	26,83	41,71	36,53	0,45	0,3	0,375	0,5	3,93
Obra 4	madeirit	7,32	22,33	47,71	45,12	0,47	0,41	0,44	0,5	2,04
Obra 5	madeira OSB	19,03	45,68	59,76	52,40	0,54	0,42	0,48	0,5	7,18
Obra 6	container metálico	24,63	59,11	58,33	50,41	0,61	0,47	0,54	0,5	8,26
Obra 7	isolante acústico	13,75	32,99	48,25	32,65	0,28	0,29	0,285	0,5	13,16
Obra 8	madeirit	7,18	18,82	58,41	51,01	0,33	0,41	0,37	0,5	6,10
Obra 9	container metálico	8,04	18,89	56,32	43,59	0,34	0,25	0,295	0,5	10,43
Obra 10	madeira OSB + estrutura metálica	34,56	81,22	53,20	42,00	0,48	0,6	0,54	0,5	11,53

Fonte: MIAN, F.R., (2013)

O levantamento foi feito na região de São Carlos, São Paulo e Campinas; os dados foram levantados e tabulados pelo aluno de graduação, MIAM (2013).

2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No quesito acústica, as obras de números 1; 2; 3; 4, janelas fechadas e analisadas por Fabio Mian, não atendem à NBR15575, nem mesmo num mínimo de desempenho.

No quesito acústica, as instalações provisórias 5; 6; 7; 8; 9 e 10 atenderam à norma de desempenho no quesito “acústico”, apresentado por MIAM (2013).

As obras de instalações provisórias como os contêineres metálicos, tiveram tratamento acústico.

Na instalação provisória usando OSB, obteve-se melhor índice de desempenho, sem qualquer tratamento acústico.

3 DESEMPENHO PARA EDIFICAÇÕES DE UM PAVIMENTO

Comparativos em relação ao sistemas existentes e aqui relacionados para aplicação em instalações provisórias.

Observa-se que a maioria deles não obedece à legislação brasileira, no entanto já aparece em alguns casos a preocupação com o conforto das instalações em proporcionar aos seus funcionários ambientes mais agradáveis.

3.1 CÁLCULO TEÓRICO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA

A resistência térmica diz respeito à quantidade de energia transmitida pelo sol, na parede externa.

O tempo que a onda de calor leva para penetrar na parede ou cobertura até chegar no interior do ambiente, esse atraso varia de região em função do Bioclima na região.

O atraso térmico também pode ser compensado pela quantidade de aberturas e pela ventilação do ambiente.

A tabela 5 mostra a resistência térmica “Ra” em função da espessura da câmara de ar, superfície e espessura da parede.

Tabela 5: Resistência térmica de câmara de ar não ventilada

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura “e” da câmara de ar cm	Resistência térmica R_{ar} $m^2.K/W$		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal 	Ascendente 	Descendente 
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,14	0,13	0,15
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,16	0,14	0,18
	$e > 5,0$	0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon < 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$	0,29	0,23	0,29
	$2,0 < e \leq 5,0$	0,37	0,25	0,43
	$e > 5,0$	0,34	0,27	0,61

Fonte: ABNT NBR15220

A tabela 5 nos mostra a resistência térmica da superfície de alta emissividade e a espessura da câmara de ar.

Em função desses parâmetros, pode-se definir a resistência térmica (atraso térmico).

3.2 RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAIS

A resistência térmica superficial varia de acordo com vários fatores, tais como: emissividade, velocidade do ar sobre a superfície e temperaturas da superfície, do ar e superfícies próximas. A tabela 6 apresenta valores médios recomendados.

Tabela 6: Resistência térmica superficial interna e externa, NBR15220

R_{si} ($m^2.K/W$)			R_{se} ($m^2.K/W$)		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: ABNT NBR 15220

Os valores de resistência térmica “R” obtidos através de medições baseados em ensaios normalizados (Tabela 6), devem ser usados sempre que possível na ausência de dados é recomendado o uso da seguinte equação:

$$R = e / \lambda \quad (\text{equação 04})$$

Sendo:

λ : condutividade térmica do concreto = 1,75 tabela 3 da NBR15220

e: espessura da parede (ABNT NBR 15220)

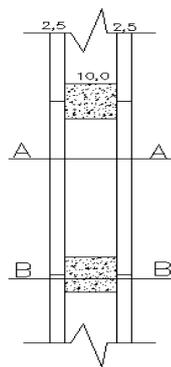
A resistência térmica é dada pela razão entre a espessura da parede e a condutividade térmica dessa parede.

3.3 RESISTÊNCIA TÉRMICA DA PAREDE

Valores da resistência térmica, R, obtidos através de medições baseadas em ensaios normalizados, devem ser usados sempre que possível Figura 13.

Na ausência de valores medidos, conforme ISO 6946, recomenda-se que a resistência térmica, R, de uma camada homogênea de material sólido seja determinada pela equação 4.

Figura 13: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada



Fonte: O autor

- Seção A-A= (concreto + ar + concreto), [m²]

$$R_a = \frac{e_{\text{CONCRETO}}}{\lambda_{\text{CONCRETO}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{CONCRETO}}}{\lambda_{\text{CONCRETO}}} = \quad (\text{equação 05})$$

- Resistência térmica da seção "B"

- Ab=(concreto+concreto+concreto), [m²]

$$R_B = \frac{e_{\text{CONCRETO}}}{\lambda_{\text{CONCRETO}}} + \frac{e_{\text{Pilar.concreto}}}{\lambda_{\text{CONCRETO}}} + \frac{e_{\text{CONCRETO}}}{\lambda_{\text{CONCRETO}}} = \quad (\text{equação 06})$$

Portanto a resistência térmica da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}; (m^2.k) / W \quad (\text{equação 07})$$

Resistência térmica total: A resistência térmica de superfície a superfície de

um

componente plano constituído de camadas homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela equação 08.

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (\text{equação 08})$$

$R_{si}=0,13$ direção do fluxo de calor horizontal.

$R_{se}=0,04$ direção do fluxo de calor horizontal.

A resistência superficial externa (R_{se}) e a superfície interna (R_{si}) são obtidas também na Tabela 6. A transmitância térmica “U”, de componentes (Tabela 3), de ambiente, que é o inverso da resistência térmica total, conforme a expressão (equação 09):

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (\text{equação 09})$$

Dados:

U: Transmitância térmica

R_T : Resistência térmica total

3.4 CAPACIDADE TÉRMICA DA PAREDE NAS SEÇÕES

A capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor é determinada pela (equação 10), conforme:

e: espessura da parede [cm]

c: calor específico do material (concreto), 1,00 kJ/(kg.K)

ρ : densidade da massa aparente do material, 2400 kg/m³

Para seção “A-A”

$$C_T = \sum_{i=1}^3 ei.ci.\rho_i = (e.c.\rho)_{CONCRETO} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{CONCRETO} \quad (\text{equação 10})$$

$C_{Ta}; KJ / (m^2 .K)$

Para seção “B-B”

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 ei.ci.\rho_i = (e.c.\rho)_{CONCRETO} + (e.c.\rho)ar + (e.c.\rho)_{CONCRETO} \quad (\text{equação 11})$$

$$C_{Tb}; KJ / (m^2 .K)$$

A resistência térmica total da parede será:

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}; \quad (m^2.k) / W \quad (\text{equação 12})$$

3.5 ATRASO TÉRMICO “Φ” EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE

Atraso térmico é o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor.

Em uma placa homogênea (constituída por um único material), com espessura “e” e submetida a um regime térmico variável e senoidal com período de 24 horas, o atraso térmico pode ser estimado pela equação 16.

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}}, \quad (\text{equação 13})$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t}, \quad (\text{equação 14})$$

$$B_2 = 0,205 \left(\frac{(\lambda.\rho.c)_{ext}}{R_t} \right) \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right), \quad (\text{equação 15})$$

Quando B2 for negativo, o valor é desconsiderado, de acordo com NBR15220.

$$\varphi = 1,382.R_t.\sqrt{B_1 + B_2} \quad (\text{equação 16})$$

3.6 FATOR SOLAR

Quando se deve respeitar um limite de fator solar para uma determinada região, pode-se determinar o máximo valor de a em função do fator solar e da transmitância térmica, conforme mostra a (equação 17).

$$F.S_0 = 100 * U * \alpha * Rse \quad (\text{equação 17})$$

Utilizando a cor externa branca, tem-se ($\alpha = 0,2$):

3.7 CÁLCULO TEÓRICO DA ACÚSTICA

Um ambiente confortável não é apenas a capacidade de um edifício proporcionar uma temperatura interna agradável, mas também deve ser considerada na construção a sua acústica. Para se viver em ambiente tranquilo, torna-se necessária uma cuidadosa avaliação do ruído "Rw" (em Decibéis), e para isso, o uso de painéis do tipo Sandiche Pré-Moldado e isolados fornece desempenho acústico excelente.

Isto é obtido pela densidade e elevada massa de concreto, eficiente para controlar reverberação, juntamente com a inclusão da camada de isolamento interno agindo como um "tampão", resultando em painéis pré-fabricados isolados Sandíche, sendo eficiente no bloqueio de ruídos indesejáveis, tais como ruídos de carros ou de impacto e podem ser efetivamente bloqueado por "painéis do tipo sanduíche" isolados, desde que as juntas e aberturas sejam vedadas e ou selados corretamente (ABNT NBR 14313).

Mas articulações das aberturas podem levar a uma entrada de ruído indesejado. Uma das vantagens do concreto pré-fabricado é que ele normalmente menos articulações do que outras formas de se construir, melhorando assim sua qualidade acústica.

Os resultados da eficiência de painéis sanduíche pré-moldados mostram que eles são ideais para edifícios, especialmente no acúmulo de áreas residenciais, ou para edifícios com ruído externo significativo, como próximo das rodovias de grande movimento de carros, provocando ruídos indesejáveis. A dissipação de ruído se

dá por densidade (massa), e por sua espessura, formando assim uma barreira de ruídos.

As barreiras acústicas funcionam como obstáculos entre as fontes geradoras de ruídos e os receptores.

3.8 SOM

O som é resultado de uma perturbação física ou de uma vibração (onda mecânica); provocada por uma variação de pressão em relação à pressão atmosférica, é uma onda longitudinal, que se propaga de forma circuncêntrica, apenas em meios materiais (que têm massa e elasticidade), como os sólidos, líquidos ou gasosos.

Para sons aéreos é uma fonte pontual ou esférica, a transferência de energia da fonte para as moléculas de ar adjacentes processa-se segundo uma propagação radial, por ondas esféricas. Esta fonte é caracterizada por uma diminuição de pressão proporcional ao aumento da distância à fonte, ou seja, quando a distância aumenta para o dobro, a energia sonora diminui para um quarto (devido ao aumento da área da frente de onda dada por $4 \cdot \pi \cdot r^2$), o que corresponde a uma diminuição no nível sonoro de 6 dB. Isso quer dizer que os sons aéreos em um raio de 25m, o som medido é de 120dB; dobrando esse raio para 50m, o índice de ruído se reduz para 114dB; dobrando novamente o raio para 100m, o ruído passa a ser de 108dB.

Sons de Percussão resultam de uma ação de choque exercida diretamente sobre um elemento de compartimento qualquer. Devido à rigidez das ligações existentes ao longo do edifício, propaga-se com grande facilidade através de toda malha definida dos espaços de utilização, estabelecendo campos sonoros, eventualmente intensos, em compartimentos razoavelmente afastados do local de origem da excitação.

3.8.1 PROPAGAÇÃO DO SOM

A variação de pressão em relação à pressão atmosférica é dada pela Pressão sonora é dada pela equação

$$p(t) = P - P_{atm}$$

$$P_{\text{atm}} - \text{pressão atmosférica} = 1,014 \times 10^5 \text{ [Pa]} \quad (\text{equação 17-A})$$

A propagação do som acontece através de algum meio elástico ou sólido, sem o qual não há transferência de energia sonora. Na comunicação humana e no dia a dia, o ar representa o meio elástico mais comum para propagação do som, em que as colisões sucessivas das moléculas umas contra as outras originam regiões de compressão e rarefação no meio de propagação em todas as direções e sem que haja deslocamento de matéria, apenas propagação de energia sonora (GERGES, 1992). De acordo com Gerges (1992), a velocidade de propagação do som em um meio depende das características desse meio de propagação, tais como temperatura e umidade relativa. No ar a velocidade de propagação do som (c) pode ser calculada a partir de uma expressão matemática bastante simples, em função da temperatura ambiente (t) em °C:

$$c = 331 + 6,0 t \text{ (m/s)} \quad (\text{equação 18})$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

(equação 19)

Sendo:

λ : comprimento de onda [m]; distância de deslocamento da onda sonora durante um ciclo de vibração;

c : velocidade da luz na atmosfera em função da temperatura ambiente, [m/s],

t : temperatura [°C];

f : frequência dada em Hertz (Hz).

Dessa forma, independente da frequência, a velocidade do som na atmosfera não se altera.

3.8.2 FREQUÊNCIA

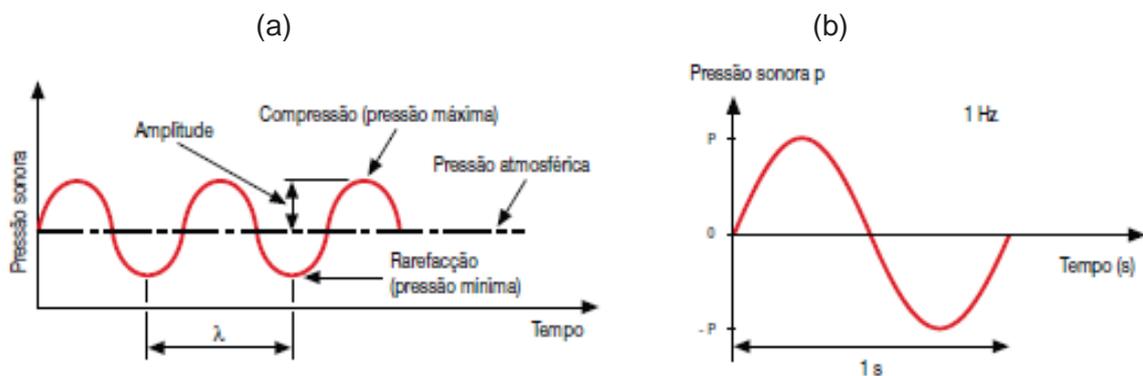
Frequência são ciclos completos que um fenômeno realiza com periodicidade temporal de “um segundo”, e sua medida é feita em Hertz (Hz). Se essas oscilações tiverem magnitude compreendida entre 20 Hz e 20.000 Hz,

serão interpretadas pela região cortical do cérebro como sons audíveis (GERGES, 1992).

Som é um fenômeno complexo e bastante relacionado à subjetividade de quem ouve. Um mesmo som pode ser agradável para um determinado ouvinte e desagradável para outro Figura 14.

Geralmente se atribuem aos sons ditos agradáveis uma composição harmônica definida, a exemplo do que acontece com a nota fundamental e os sons harmônicos musicais. Por outro lado, os sons desagradáveis ou ruídos caracterizam-se por ter uma composição harmônica não definida (MÉNDEZ *et al.*, 1994, p.24) e por aleatoriedade de frequências ao longo do tempo, sendo: Tons graves, entre 125 Hz e 250 Hz; Tons médios, entre 500 Hz e 1000 Hz; Tons agudos, entre 2000 Hz e 4000 Hz.

Figura 14: a) Propagação do som b) Período e comprimento de onda e um ciclo



Fonte: <http://portal.ipt.pt/portal/portal/sas>

De acordo com a Figura 14, pode-se ter uma noção de como o som se propaga na atmosfera.

3.8.3 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

A audibilidade com que o ouvido humano percebe os sons varia na faixa de de $0,00002 \text{ N/m}^2$, que é a mínima pressão perceptível à frequência de 1.000 Hz, até valores bastante elevados que podem chegar a 200 N/m^2 , valor considerado como limiar da dor. Para a medição da pressão sonora utiliza-se uma escala relativa, tendo sido convencionado o decibel (dB) como unidade de relação logarítmica

(SANTOS *et al.*, 1999, p. 09).

Nível de Pressão Sonora, ou NPS, é a relação entre o valor da pressão medida em Pascal e a menor pressão recebida pelo ouvido humano na frequência de 1.000 Hz (SANTOS *et al.*, 1999, p. 10). O NPS é expresso pela fórmula:

$$NPS = 20 \log^* \frac{P}{P_{ref.}} \quad (\text{equação 20})$$

Sendo que:

P: pressão sonora a medir (Pa)

P_{ref.}: pressão sonora de referência (0,00002 Pa)

Conforme demonstra a Tabela 7, os sons percebidos pelo ouvido humano variam desde o limiar da audição até o limiar da dor, com uma magnitude de 0 a 120 dB.

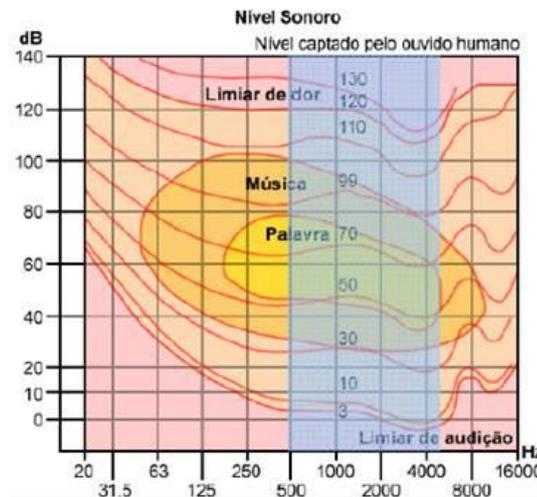
Tabela 7: Níveis de Pressão Sonora desde o limiar da audição até o limiar da dor.

P (Pa)	NPS (dB)	Fonte de Ruído
20	120	Turbina de avião a jato
2	100	Martelo pneumático
0,2	80	Rua movimentada
0,02	60	Escritório
0,002	40	Sala de estar tranqüila
0,0002	20	Campo tranqüilo
0,00002	0	Limiar da Audição

Fonte: MÉNDEZ *et al.* (1994, p.21).

A figura 15 mostra a frequência audível do ser humano, que vai de 500Hz e chega ultrapassar os 4000Hz, e o ruído de 0dB a 120dB. A partir daí, o som torna se desconfortável.

Figura 15: Níveis de Pressão Sonora (limiar da audição até limiar da dor)



Fonte: Almeida (2007)

A tabela 7 e a figura 15, representam os limites sonoros audíveis do ser humano.

3.8.4 CLASSIFICAÇÃO DOS RUÍDOS

Sinais sonoros de longa duração são interpretados pelo ouvido humano com intensidade semelhante à intensidade real do sinal. Sinais de muito curta duração, do tipo impulsivo, quase não são perceptíveis pelo ouvido humano, mas, no entanto, quando possuem elevadas amplitudes, podem causar trauma auditivo, agravado pelo fato de serem tão rápidos que podem não permitir a ativação do sistema de defesa do ouvido humano. Figuras 16 e 17 mostram os valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa. Os limites acústicos admitidos pela ABNT NBR 10152 para ambientes residenciais.

Os sinais com variação menos acentuada, mesmo em ambiente muito ruidoso, permitem normalmente a ativação do sistema de defesa do ouvido humano, provocando uma diminuição temporária da audição, que será posteriormente recuperada. MATEUS, (2008)

Figura 16: Limites acústicos para residências e escritórios - ABNT NBR 10152

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ dB
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	≥ 30
<p>NOTA 1 Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos.</p> <p>NOTA 2 Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos.</p>		

Fonte. MIAM (2013)

Os limites acústicos em ambientes devem ser observados por uma série de prejuízos ao próprio usuário. Em ambiente de trabalho, há dificuldade de concentração por ruídos que parte muitas vezes do ambiente ao lado, ou mesmo ruídos das grandes cidades. O funcionário vive em um intenso stress, onde perde produtividade, além de prejudicar sua saúde. O limite de ruído no interior de ambientes especificados ver Figura 17.

O ambiente de trabalho deve proporcionar ao usuário um ambiente onde lhe proporcione bem estar. Um dos Ruídos intenso e desproporcionais são os de escapamentos de motos e de alguns carros. Essas pessoas que dirigem deixam a impressão de descarga emocional, provocando ruídos intensos acima de 120dB. São poucos os países que se preocupam em que levam controlado no caso de nosso País.

Figura 17: Limites de ruído no interior de ambientes especificados

Tabela 1 - Valores dB(A) e NC

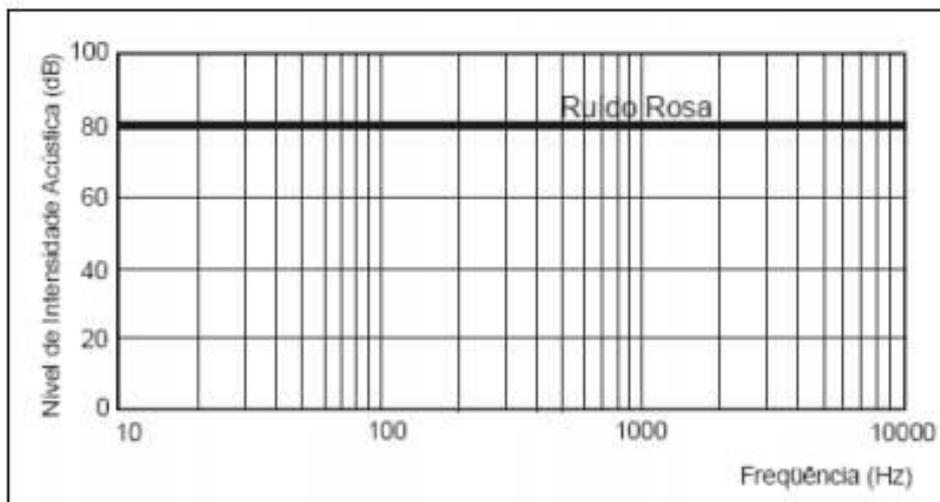
Locais	dB(A)	NC
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35 - 45	30 - 40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 - 50	35 - 45
Serviços	45 - 55	40 - 50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45	30 - 40
Salas de aula, Laboratórios	40 - 50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
Hotéis		
Apartamentos	35 - 45	30 - 40
Restaurantes, Salas de Estar	40 - 50	35 - 45
Portaria, Recepção, Circulação	45 - 55	40 - 50
Residências		
Dormitórios	35 - 45	30 - 40
Salas de estar	40 - 50	35 - 45
Auditórios		
Salas de concertos, Teatros	30 - 40	25 - 30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 - 45	30 - 35
Restaurantes	40 - 50	35 - 45
Escritórios		
Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55

FONTE: ABNT NBR 10152

dB: índice de ruído;

NC: nível de critério.

Os ensaios em laboratório são realizados em câmara reverberante com fonte sonora normalizada, a qual emite um ruído com a mesma quantidade de energia em todas as frequências analisadas. A esse ruído, que apresenta tais características, chama-se ruído rosa Figura 18. O gráfico do ruído rosa está expresso na Figura 19 (PUJOLLE, 1978).

Figura 18: Espectro do ruído rosa (adaptado de PUJOLLE, 1978, p.32)

Fonte: PUJOLLE, (1978)

Ruído rosa é um ruído cujo nível é caracterizado por uma frequência inversamente proporcional à densidade espectral. Bastante utilizado no Japão, nos Estados Unidos e em países da Europa, o recurso começa a ser utilizado no Brasil como resultado de uma maior preocupação com o conforto ambiental. Nesses dispositivos a trajetória do som é interrompida com a colocação de um obstáculo, reduzindo os níveis de pressão sonora entre a fonte e o receptor.

Uma parte da energia sonora é refletida ou dispersada em direção à fonte, enquanto que outra parte é absorvida pelo material ou transmitida através da barreira, podendo ainda ser difratada pelo topo da barreira (ABNT NBR 14313).

Ao analisar o problema do impacto ambiental causado pelo aumento da poluição sonora em área residencial, devido ao funcionamento de locais de lazer noturno na cidade de Santa Maria, Freitas (2006, p. 88) concluiu ser impossível haver o repouso dos moradores situados no entorno de tais estabelecimentos. Segundo a mesma autora, vários locais analisados demonstraram inclusive desvalorização imobiliária frente à proximidade em relação a alguns bares.

Ainda conforme Freitas (2006), a poluição sonora ocasionada por aglomerações e ruído de trânsito no entorno dos locais analisados atingiu até 20 dB (A) a mais de diferença, em relação aos dias de não funcionamento desses estabelecimentos.

3.8.5 ISOLAMENTO ACÚSTICO

O controlar ruído é um elemento de projeto indispensável para não permitir o desconforto e a inabitabilidade nas edificações. O som é gerado e transmitido do meio externo para o interior das edificações e mesmo dentro delas o som deve ser conhecido e levado em consideração na fase de anteprojeto de um imóvel.

Conforme GERGES (1992, p.175), o som se propaga por via aérea (quando o meio de propagação é o ar) e/ou por via estrutural (quando o meio de propagação é algum tipo de corpo sólido). A maior parte das fontes sonoras nas habitações ou edificações comerciais são produzidas por ruídos aéreos, e ruídos de tráfego terrestre e equipamentos da própria construção civil.

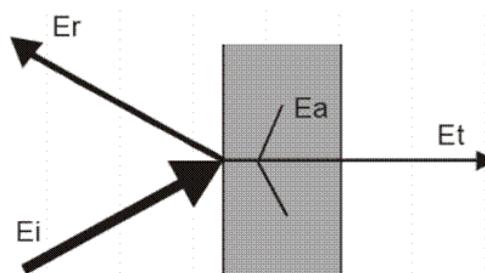
Assim, de acordo com a forma com que as ondas sonoras são geradas e propagadas, consideram-se dois tipos de isolamento acústico (MÉNDEZ, 1994).

a) Isolamento acústico a ruídos aéreos: nesse caso a fonte geradora do ruído emite um movimento vibratório de compressões e rarefações nas moléculas do ar, pondo em vibração as partições e/ou elementos construtivos.

b) Isolamento acústico a ruído de impacto: quando a fonte geradora de ruído é uma vibração, contínua ou percussiva, a qual é gerada diretamente sobre a estrutura, transmitindo-se por via sólida (tal como acontece nos pilares, vigas, lajes, paredes e outros elementos construtivos da habitação).

Segundo Méndez *et al.* (1994, p.106), “quando uma onda sonora de energia E_i incide sobre uma superfície, divide-se em duas, uma energia refletida E_r e uma absorvia E_a . Esta última, por sua vez, se decompõe em energia dissipada no interior do fechamento E_a e uma energia transmitida E_t ”, conforme a Figura 19.

Figura 19: Reflexão, absorção e transmissão do som



Fonte: MÉNDEZ *et al.*, (1994)

Chama-se coeficiente de transmissão τ à relação entre energia transmitida E_t e energia incidente E_i , o qual se traduz pela capacidade do fechamento em transmitir o som, dado pela equação:

$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad (\text{equação 21})$$

A capacidade de isolamento acústico de um fechamento é caracterizada pela perda de Transmissão Sonora – PT , igualmente conhecida como Índice de Redução Acústica – R . O Índice de Redução Acústica, em dB, é representado pela expressão:

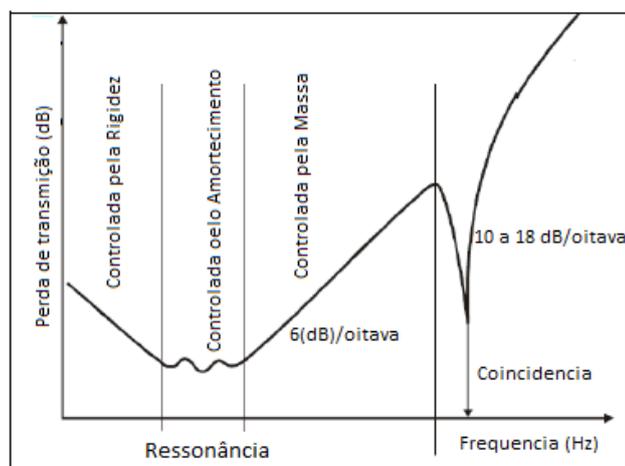
$$R = 10 \cdot \log \frac{E_i}{E_t} = 10 \cdot \log \frac{1}{\tau} \quad (\text{equação 22})$$

A equação 22 mostra que altas perdas de transmissão significam baixas transmissões de energia acústica e vice-versa GERGES, (1992)

3.8.6 ISOLAMENTO ACÚSTICO (FECHAMENTOS SIMPLES)

O isolamento acústico de um fechamento simples suposto homogêneo varia em função da densidade superficial do material e da frequência sonora do som incidente. Dessa forma, para cada frequência do espectro audível, corresponderá um determinado índice de redução acústica Figura 20. Considerando fechamentos simples e isotrópicos, a variação da Perda de Transmissão (PT) em função da frequência acontece segundo quatro regiões bem definidas.

Figura 20: Curva típica da perda de transmissão para fechamentos simples



Fonte: (GERGES, 1992)

a) Região controlada pela rigidez:

Nas frequências muito baixas, a perda de transmissão não segue a lei da massa, estando na dependência, sobretudo, das características de rigidez do fechamento.

b) Região controlada pela ressonância:

Caracteriza-se por ser a região onde aparecem as primeiras frequências de ressonância do sistema. O fechamento se comporta como se fosse uma membrana, apresentando uma série de frequências naturais de ressonância, nas quais ocorrem quedas na perda de transmissão. Essas frequências dependem das dimensões, da rigidez e da massa do fechamento.

c) Região controlada pela massa:

Ocorre em frequências superiores ao dobro da frequência da primeira ressonância, e a isolamento acústica do fechamento depende da massa e da frequência incidente. A perda de transmissão tende a apresentar um aumento de 6 dB para cada duplicação da massa ou para cada duplicação da frequência da onda incidente. A partir da lei da massa, conclui-se que para isolar um ruído é necessário usar materiais de alta densidade superficial.

Com isso se verifica que, para as altas frequências a perda de transmissão é maior que para as baixas frequências, (GERGES, 1992). Tal fato ocorre porque quanto maior a massa do fechamento, maior é a frequência incidente e maior será a dificuldade de fazer o material vibrar, garantindo assim um isolamento mais eficiente.

No entanto, há que se considerar que toda e qualquer imperfeição construtiva que não garanta a estanqueidade ao ar do fechamento irá prejudicar o isolamento do conjunto. Isto se aplica também à utilização de materiais porosos ou à passagem de tubulações nas paredes.

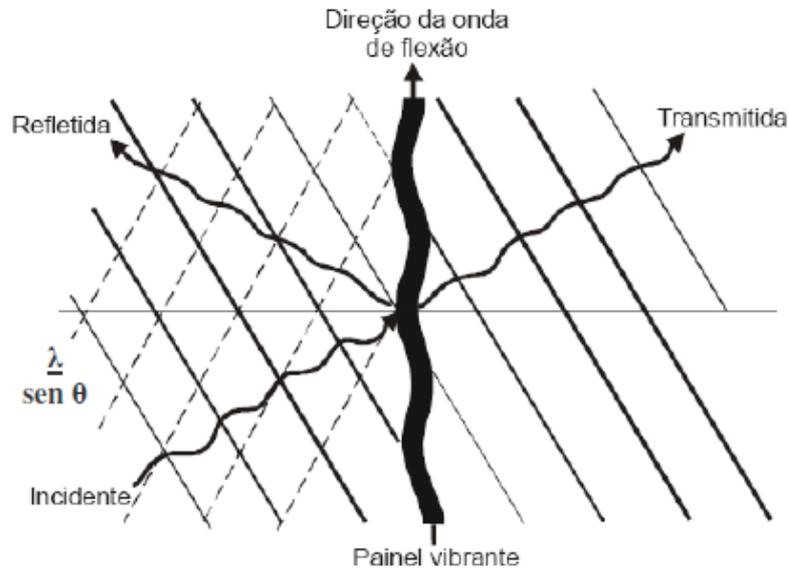
d) Região controlada pela coincidência:

A isolamento sonora cresce de acordo com a lei da massa até certa frequência, se produz uma queda significativa no isolamento, devida ao fenômeno da coincidência. Esta é chamada frequência crítica f_c do fechamento. Conforme mencionado por Méndez et al. (1994), essa frequência de coincidência acontece porque, no ar, o som se propaga por ondas longitudinais, e sua velocidade é a mesma para todas as frequências.

Nos sólidos, as ondas podem propagar-se de várias formas, sendo as

ondas de flexão as mais importantes para fechamentos. Estas se propagam com velocidade proporcional à frequência. Dessa forma, haverá uma frequência crítica, na qual a projeção do comprimento de onda do som incidente será igual ao comprimento de onda livre à flexão, ao longo do fechamento, conforme a Figura 21.

Figura 21: Efeito da coincidência



Fonte: (MÉNDEZ *et al.*, 1994, adaptado)

De acordo com Gerges (1992), a frequência crítica f_c de um material pode ser calculada pela expressão:

$$f_c = \frac{c^2}{1,8 * c_t * h} \quad (\text{equação 23})$$

Sendo:

c : velocidade no som no ar [m/s];

c_t : velocidade da onda no sólido, [m/s] que depende do módulo de Young (E_c);

E : módulo de elasticidade [N/m²];

ρ_m : da densidade do material;

ν : coeficiente de Poisson do material;

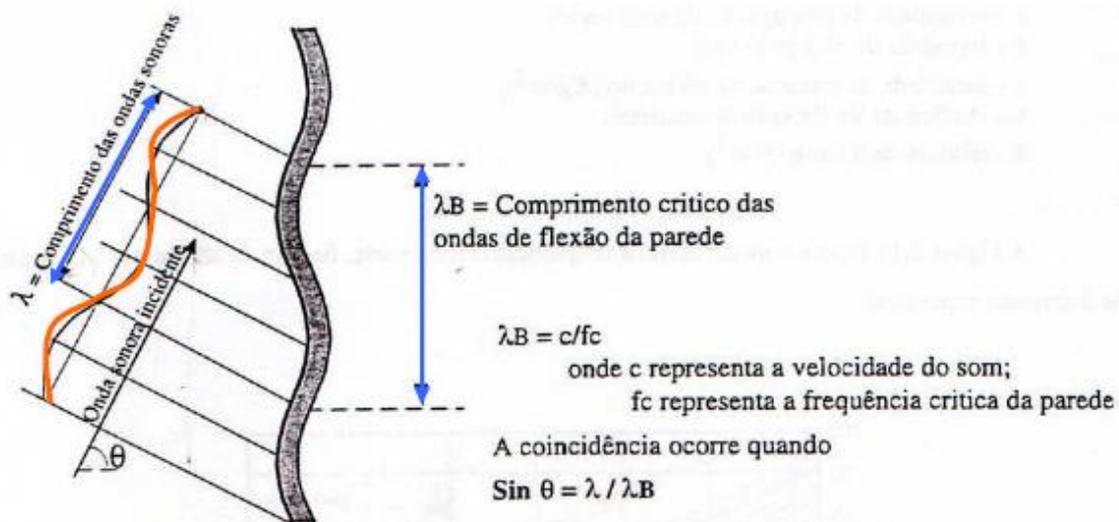
c =velocidade de propagação do som [m/s]

$$C_t^2 = \left[\frac{E}{\rho_m(1-\nu^2)} \right] \quad \text{ou} \quad f_c = \frac{c^2}{1,8138 * h} \sqrt{\frac{\rho_m(1-\nu)^2}{E}} \quad (\text{equação})$$

24)

A Figura 22 mostra o efeito de coincidência. Isto ocorre quando o comprimento de onda sonora incidente na projeção da parede é igual ao comprimento das ondas de flexão dessa parede o isolamento sofre uma quebra nessa frequência. E passa a não ser mais um isolante nesse ângulo θ .

Figura 22: Momento em que existe a frequência crítica



FONTE: ESTT, (2006)

O efeito de coincidência sempre ocorre quando o comprimento de onda sonora incidente, projetada na direção da parede, é igual ao comprimento das ondas de flexão dessa parede. O isolamento sofre quebras nessas frequências.

A rigidez dinâmica à flexão é calculada segundo Gerges (1992), envolvendo as propriedades mecânicas de elasticidade dos materiais:

$$B = \frac{E.h^3}{12(1-\nu^2)} ; [\text{N.m}] \quad (\text{equação 25})$$

Sendo:

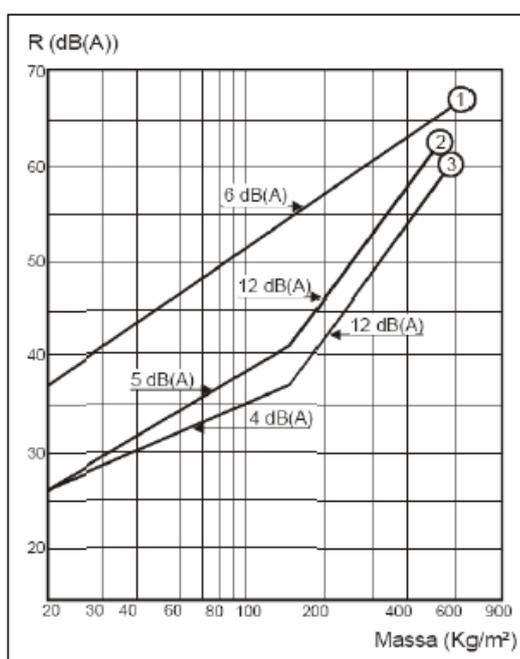
E:módulo de Young [N/m²]

h:espessura da parede [m]

ν :coeficiente de poisson

De forma geral, elegem-se aqueles materiais cuja frequência crítica esteja situada em zonas pouco sensíveis ao ouvido humano, como nas frequências muito baixas ou muito altas. Diversos autores, em seus estudos, equacionaram, através de pesquisas práticas, o índice de redução acústica R de uma forma global, em dB (A), relacionando a massa superficial da amostra. O CSTB (1982), de acordo com a Figura 23, mostra a lei que relaciona o índice de redução R e a massa do fechamento, para o modelo teórico e dois modelos experimentais com espectros de emissão usuais:

Figura 23: Lei da Massa (CSTB, 1982)



FONTE: (CSTB, 1982)

Onde:

- 1: Lei da Massa Teórica
- 2: Lei da Massa Experimental (Ruído Rosa)
- 3: Lei da Massa Experimental (Ruído de Tráfego)

Observa-se que há uma quebra nas retas experimentais, em 150 kg/m², o que reflete o estágio atual das técnicas construtivas, podem-se relacionar a massa e a rigidez dos fechamentos. A partir daí, podem-se considerar então dois grupos: os chamados fechamentos leves, com massa inferior a 150 kg/m²; e os fechamentos pesados, com massa superior 150 kg/m².

Silva (2000), realizou diversos ensaios laboratoriais com paredes de diferentes materiais e massas, a fim de avaliar as expressões previstas pela bibliografia e chegar a uma fórmula empírica, com base em análises estatísticas, que fosse a mais próxima possível dos resultados obtidos na prática. As fórmulas apresentadas foram as propostas pelo CSTB (1982) e por Sanchidrian (1998).

Conforme o CSTB (1982), o valor único de isolamento, para 150 kg/m^2 , é igual a 41 dB(A). Acima dessa massa, o índice R cresce à razão de 12 dB (A) a cada duplicação da massa. Abaixo desse valor, o crescimento é de 5 dB (A) por dobramento de massa, para ruído rosa, e de 4 dB(A), para um ruído de tráfego, segundo as expressões:

$$\text{Para } m < 150 \text{ kg/m}^2, R = 17 \log m + 4 \text{ dB}$$

$$\text{Para } m > 150 \text{ kg/m}^2, R = 40 \log m - 46 \text{ dB}$$

Para Sanchidrian (1998), as expressões para determinação do valor único de isolamento são as seguintes:

$$\text{Para } m < 150 \text{ kg/m}^2, R = 16,6 \log m + 2 \text{ dB(A)}$$

$$\text{Para } m > 150 \text{ kg/m}^2, R = 36,5 \log m - 41,5 \text{ dB(A)}$$

3.8.7 ISOLAMENTO ACÚSTICO (FECHAMENTOS DUPLOS)

Conforme mencionado anteriormente, o isolamento a ruído aéreo de um fechamento simples segue a lei da massa, de maneira que quanto mais pesado for o material, maior será o isolamento. Concomitantemente, para haver um isolamento eficaz, deve-se escolher um material com frequência crítica adequada.

Entretanto, considerar somente a lei da massa não é suficiente e viável para resolver todos os casos de isolamento sonoro. Se assim fosse, seria necessário aumentar significativamente a massa do fechamento, conflitando com o espaço disponível, à estrutura existente e com a questão econômica.

Assim, conforme sugere GERGES (1992, p.205), “uma melhor solução para projetos de alta perda de transmissão, sem o emprego de grandes massas, é o uso de paredes duplas (ou triplas)”. A combinação de fechamentos paralelos, afastados entre si, formando espaço preenchido pelo ar ou por algum material absorvente acústico, garante um isolamento maior que o efeito produzido pela lei da massa,

para uma mesma espessura.

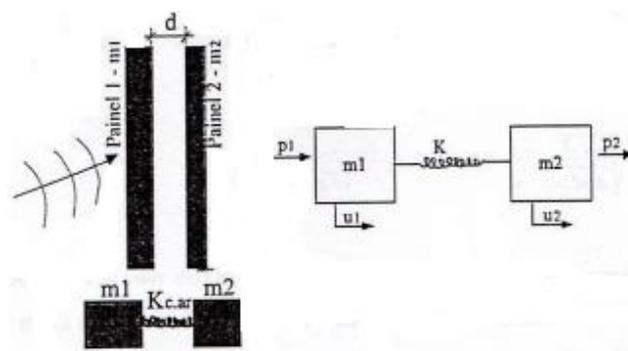
É o chamado “efeito sanduíche” (SILVA, 1997). Os componentes individuais do fechamento simples podem ser constituídos pelo mesmo material ou por materiais diferentes, de espessuras iguais ou assimétricas. O isolamento acústico proporcionado por uma parede dupla é diferente da soma dos isolamentos de cada parede. Segundo Gerges (1992), “a incorporação de um espaço de ar de 15 a 200 mm fornece um aumento na perda de transmissão de aproximadamente 6 dB, acima da soma aritmética das perdas de transmissão de cada uma das duas paredes”.

Com a utilização de um material absorvente no interior da cavidade de ar, o isolamento tende a aumentar ainda mais, já que parte da energia sonora é dissipada pelo material. Conforme Méndez *et al.* (1994), os elementos de um fechamento duplo estão acoplados entre si, de maneira elástica, por meio de uma camada de ar.

A energia acústica transmitida pelo primeiro painel incide sobre o segundo, que por sua vez transmite parte dessa energia ao ar que o rodeia e reflete outra grande parte. Ocorre uma sucessão de reflexões na camada de ar e, em cada uma dessas reflexões, parte da energia é dissipada, conforme as figuras 23 e 24. Determinação da frequência de ressonância do conjunto das massas e da caixa de ar.

Frequência de ressonância para essa característica de um corpo ou de um sistema que atinge o grau máximo de oscilação de frequência. Em um corpo ou sistema, ou várias frequências características, quando um sistema é excitado a uma das suas frequências características, a vibração é a máxima possível e o aumento da vibração ocorre porque nessas frequências o sistema é ressonante.

Figura 24: Representação de duas paredes com caixa de ar entre as paredes



Fonte <http://portal.ipt.pt/portal/portal/sas>

Paredes duplas ou múltiplas de material o índice de isolamento sonoro é função de:

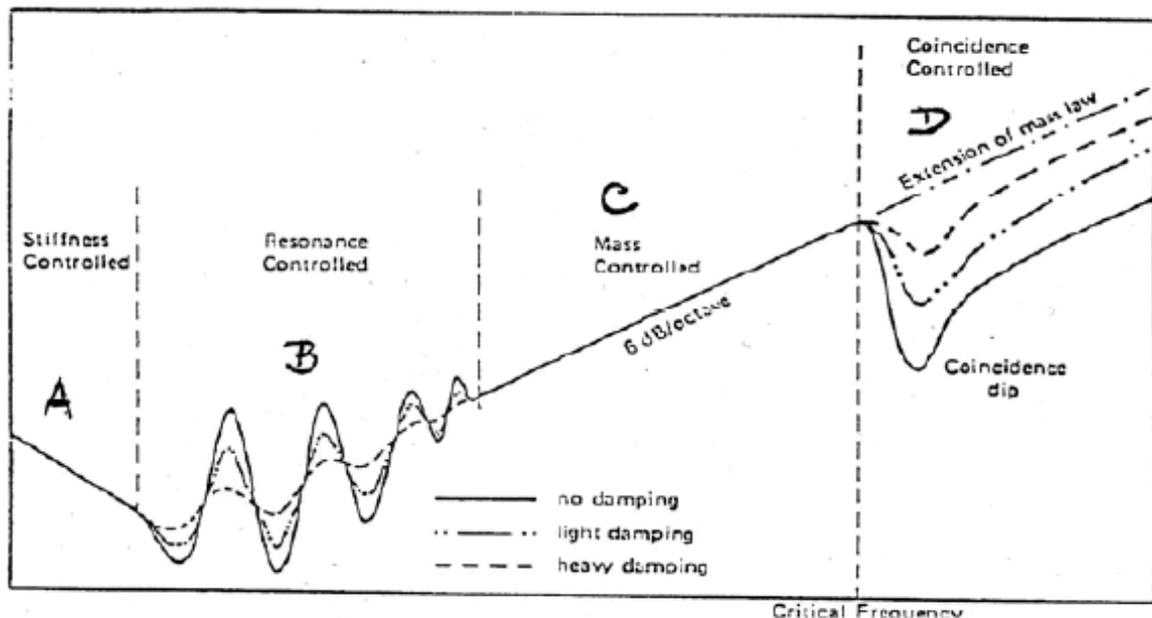
- Natureza e massa superficial de cada pano;
- Espessura da caixa ou caixas de ar entre panos;
- Natureza, espessura e massa de volume do material que preenche a caixa de ar estrutura de ligação dos vários panos entre si e à estrutura de edifícios

Figura 25.

Nestes casos convém que o espaçamento mínimo entre os painéis “d” obedeça à relação representada pela equação 26.

$$d \geq 0,9 \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \quad (\text{equação 26})$$

Figura 25: Esquema de ondas



- Zona A – depende da rigidez do elemento
- Zona B – depende da frequência de ressonância
- Zona C – segue a Lei de frequência teórica
- Zona D – depende do efeito de coincidência

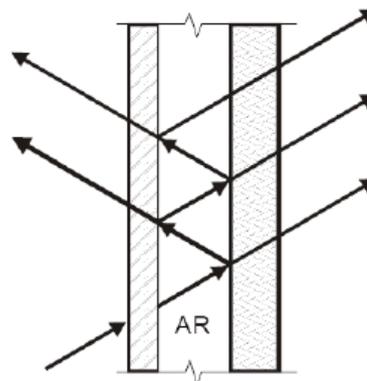
Fonte: LANÇA (2006)

Comportamento das ondas sonoras incidentes onde parte dessas ondas

são refletidas, partes absorvidas parte sofrem ressonância e parte transmitidas. O processo se inicia novamente ondas incidentes parte se refletem parte das ondas são absorvidas pelo material e parte das ondas são transmitidas ao meio, reduzindo consideravelmente a onda transmitida ao chegar no ambiente interno.

A densidade e espessura da parede é que reduz o índice de ruído que vem de fora para dentro segundo a lei das massas. No caso do concreto com densidade de 2500kg/m^3 , tem-se a cada centímetro de espessura um acréscimo de 25kg/m^2 de densidade. Talvez, justifica-se que, para painéis fabricados na Europa, com dimensão mínima de espessura de 6,0 cm, porque teremos uma densidade de 150kg/m^2 , se verificarmos a Figura 26. Apenas comparando com paredes com massa menor e maior que 150kg/m^2 , Para $m < 150\text{kg/m}^2$ $R = 16,6 \log m + 2\text{ dB(A)}$, Para $m > 150\text{kg/m}^2$ $R = 36,5 \log m - 41,5\text{ dB(A)}$, observa-se aumento significativo da dissipação dos ruídos.

Figura 26: Reflexão e transmissão em um fechamento duplo



Fonte: MÉNDEZ *et al.* (1994)

A eficiência do fechamento duplo depende da ligação entre os painéis, e essa união for muito rígida, o conjunto passa a funcionar como um único painel. A camada de ar situada entre os dois elementos rígidos cria um acoplamento elástico entre eles, sendo que o conjunto pode ser comparado a um sistema de duas massas separadas por uma mola, ou seja, um sistema massa-mola-massa.

Da mesma forma que para painéis simples, o isolamento de um fechamento duplo varia em função da frequência de incidência do som, motivo pelo qual podem ocorrer falhas no isolamento, segundo Méndez *et al.* (1994).

A camada de ar situada entre os elementos da parede dupla cria um

acoplamento elástico entre eles. É como se o sistema funcionasse ligado por uma mola. Essa ligação elástica pode possibilitar uma ressonância no sistema massa-mola-massa, em uma frequência onde o isolamento diminuirá, conforme a expressão (MÉNDEZ *et al.*,1994): A frequência de ressonância é dada pela equação (26).

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{d} \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 * m_2} \right)} \quad (\text{equação 27})$$

Sendo:

c: velocidade de propagação do som no ar (340m/s)

ρ : massa volumétrica do ar (1,18kg/m³)

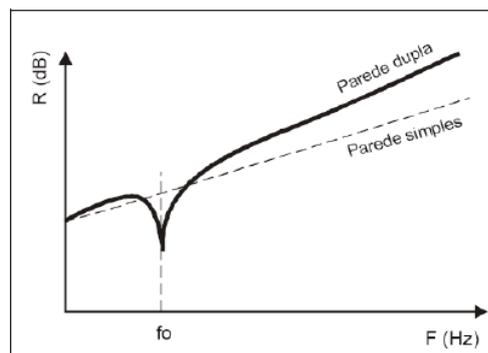
f_0 : frequência de ressonância massa-mola-massa [Hz]

d : espessura da camada de ar (cm)

m_1 e m_2 : massa superficial das paredes (kg/m²)

A partir da equação 27, conclui-se que quanto maior o afastamento entre os painéis, e quando mais pesados eles forem, mais baixa será a frequência de ressonância. Abaixo da frequência de ressonância, a “mola” não tem eficácia, e o isolamento é praticamente o mesmo da parede simples de mesma massa. Já acima dessa frequência, o isolamento da parede dupla é muito superior da simples, já que a “mola” transmite muito pouco a vibração para o outro painel, conforme a Figura 27.

Figura 27: Diferença entre o isolamento de uma parede simples e uma dupla



Fonte: MÉNDEZ *et al.* (1994)

A camada de ar situada entre os painéis pode dar origem a ressonâncias (ondas estacionárias), de acordo com a relação existente entre sua espessura e o comprimento de onda do som incidente. Quando as ondas incidentes são

paralelas ao fechamento, haverá ressonâncias se a frequência do som for igual a MÉNDEZ (1994), sendo:

$$f = n \cdot \frac{1700}{d} \quad (\text{equação 28})$$

Onde:

n: 1,2,3,...(número de ordem da frequência)

d: espessura da camada de ar (cm)

Nessas frequências ocorre uma queda de isolamento da parede dupla (Figura 27). Para as distâncias mais usuais de fechamentos duplos (de 2 cm a 10 cm), as frequências de ressonância caem na região das altas frequências. Assim, é conveniente adotar um afastamento de maneira que as ressonâncias ocorram fora das zonas mais audíveis do ouvido humano, tabela 8.

Tabela 8: Impacto do ruído

Intensidade	Efeitos negativos na saúde
Até 50Db	Nenhum
De 50 a 65Db	Diminui a resistência imunológica. Induz a liberação de Endorfina, tornando o organismo independente, aumento do nível de colesterol no sangue.
Acima de 70 Db	Aumentam riscos de enfarte, infecções, doenças auditivas

Fonte: MAZANA (1998)

Balanco de energia com choque no obstáculo Transmitida, refletida e absorvida Materiais como isolamento acústico. Capacidade de certos materiais formarem uma barreira, impedindo que a onda sonora passe de um recinto a outro são os materiais densos como concreto, o vidro ou aço, etc.

Problema de “vazamento” de sons de um ambiente para outro, faz-se do uso de materiais “densos”, como o concreto, o vidro, o aço, etc. e no meio o uso de material leve como EPS, por exemplo.

Nas edificações habitacionais ou comerciais, a ABNT NBR 15575 que preconiza sobre desempenho nas edificações sobre ruídos, apresenta três níveis

diferentes de desempenho acústico: mínimo, intermediário e superior, sendo obrigatório o nível mínimo. Conforme a Norma, os projetos protocolados para aprovação nos órgãos públicos, a partir de Julho de 2013 deverão atender a essas exigências da Norma.

Obrigações de consumidor, projetista, construtor, incorporador e fabricante de material, os altos níveis de pressão sonora nos centros urbanos são uma realidade e os habitantes expostos a convivência com esse desconforto. Ruídos produzidos pelo trânsito, máquinas e equipamentos na manutenção de obras e ruas, aviões, alarmes dos automóveis, músicas e veículos e causam desconfortos.

Considerando-se que tanto o ruído de tráfego quanto o ruído da vizinhança causam incômodo às pessoas no interior de suas residências, quando estas não apresentam desempenho esperado no que a norma aconselha.

A gestão do espaço urbano sempre deverá integrar na qualidade ambiental de qualquer cidadão. Na etapa de produção em canteiro de obras, não é considerada na análise acústica, porque as edificações existentes são instalações provisórias. Mas, é nessa etapa que os trabalhadores sofrem a influência de diversas fontes sonoras que provocam níveis intensos de ruídos intermitentes dos equipamentos existentes. Os impactos na saúde do trabalhador provocam diversos efeitos colaterais, como diminuição da produtividade, stress e irritações, além do desconforto.

Nesse sentido, torna-se importante desenvolver um produto final que englobe os principais pontos a serem analisados durante a construção. Assim, possibilita-se um bom desempenho acústico, atendendo aos critérios mínimos exigidos pela norma brasileira de desempenho ABNT NBR 15575.

O Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq}) é o nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A), referente a todo o intervalo de medição.

$$L_{Aeq} = 10 * \log * \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n * 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (\text{equação 29})$$

Sendo:

L_{Aeq} : nível de pressão sonora equivalente

n: número total de leituras;

Li: nível de pressão sonora em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada cinco Segundos, durante o tempo de medição.

A classe de transmissão de som para determinado material de construção (STC) geralmente uma parede ou divisória e janelas e portas. Também conhecido como SRI (*Sound Reducional Index*). Padrões de medição e classificação que seguem as normas ISO 140 (partes 1 a 14), ISO 717 (partes 1 e 2) ou ASTM E 90 e ASTM E 413.

No cálculo, deve-se considerar as áreas de cada componente que define a parede ou divisória, o grau de isolamento (STC) de cada componente por bandas de oitavas e o isolamento global por bandas de oitavas.

Quanto maior o valor do STC em decibéis (dB), maior o isolamento proporcionado pela barreira na faixa de frequências estabelecida (normalmente entre 125 e 4000 Hertz).

Os números não são cumulativos, isto é, o STC total de uma divisória, consistindo de (por exemplo) uma camada de blocos maciços, uma camada de reboco e uma de vermiculita, não será a soma dos STCs individuais (Tabela 9). Assim, para se determinar a classe dessa parede, ela terá de ser construída e medida, pois o acréscimo de um determinado material sobre outro pode afetar suas características acústicas.

(Disponível no site: http://forum.batera.com.br/forum_posts.asp?TID=48620).

Na tabela 9 vale destacar que o termo STC, às vezes, é utilizado para designar o coeficiente de transmissão sonora (sound transmission coefficient), que é uma relação matemática que depende da frequência do som analisado.

Frequência em (Hz)

Tabela 9: Valores de STC para Componentes Construtivos (valores em dB)

Componente	125	250	500	1K	2K	4K
Alvenaria ou concreto, densidade entre 1600 e 2000kg/15cm	35	36	40	46	52	58
Bloco de concreto vazado 15cm	33	34	35	39	45	51
Gesso 12mm	21	26	27	28	29	30
Mdeira 6mm	5	11	15	17	19	20
Chapa de aço 1,5mm	25	31	37	42	46	49
Vidro monolítico 3mm	12	17	22	26	27	28
Vidro monolítico 6mm	17	23	25	26	27	28
Janela vidro 4mm duplo						
Com câmara de ar 150mm	38	35	40	52	48	38

Fonte: http://forum.batera.com.br/forum_posts.asp?TID=48620

A absorção de um ambiente pode ser medida por uma equação que leva em consideração a superfície, o material da superfície e o ambiente, de forma que se equacionam da seguinte maneira:

$$A = \sum S_i * a_i + \sum n_i * A_i + x * V \quad (\text{equação 30})$$

Sendo:

S_i : superfície aparente de cada material (m²);

a_i : coeficiente de absorção de cada material;

n_i : quantidade de objetos com a absorção, A_i que é a absorção global de cada x objeto (Sabine), x coeficiente de absorção do ar (Sabine/m³) e V é o volume do ambiente.

O ruído branco é um tipo de ruído produzido pela combinação simultânea de sons de todas as frequências. O adjetivo branco é utilizado para descrever este tipo de ruído em analogia ao funcionamento da luz branca, dado que esta é obtida por meio da combinação simultânea de todas as frequências cromáticas.

O tratamento acústico, destinado ao conforto humano, implica o conhecimento de valores das condições locais, em função do conjunto de condições do recinto.

- a) Nível de som exterior, em decibéis;
- b) Nível de som do recinto em decibéis em função do gênero de atividade desse recinto;
- c) Planta de situação do imóvel onde se encontra o recinto a ser tratado;
- d) Plantas e cortes longitudinais e transversais do recinto;
- e) Especificações dos materiais empregados no recinto, áreas de: pisos, parede mesa, sofá, cortinas, vidros etc.

O roteiro para tratamento acústico do recinto compreende determinados parâmetros como:

- a) Isolamento acústico: Através do uso adequado de materiais capazes de permitir necessária impermeabilidade acústica, previamente fixada;
- b) Condicionamento acústico: Pelo estudo geométrico-acústico do recinto e cálculo do tempo de reverberação.

O nível de som do recinto deve ser fixado de acordo com a norma. Estabelecido esse nível, é conhecido o nível de som exterior, obtém-se por diferença a queda de nível sonoro (Δ), em decibéis. ABNT NBR 12179.

A ABNT NBR 15575 estabelece que os valores de referência, considerando ensaios realizados em laboratório em componentes, elementos e sistemas construtivos.

Para avaliar um projeto com diversos elementos, é necessário ensaiar cada um e depois calcular o isolamento global do conjunto.

Na Tabela 10 são apresentados valores de referência, considerando ensaios realizados em laboratório em componentes, elementos e sistemas construtivos utilizados para fachadas.

Tabela 10: Índice de redução sonora ponderado, R_w

Elemento	R_w [dB]	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

Fonte: ABNT NBR 15575.

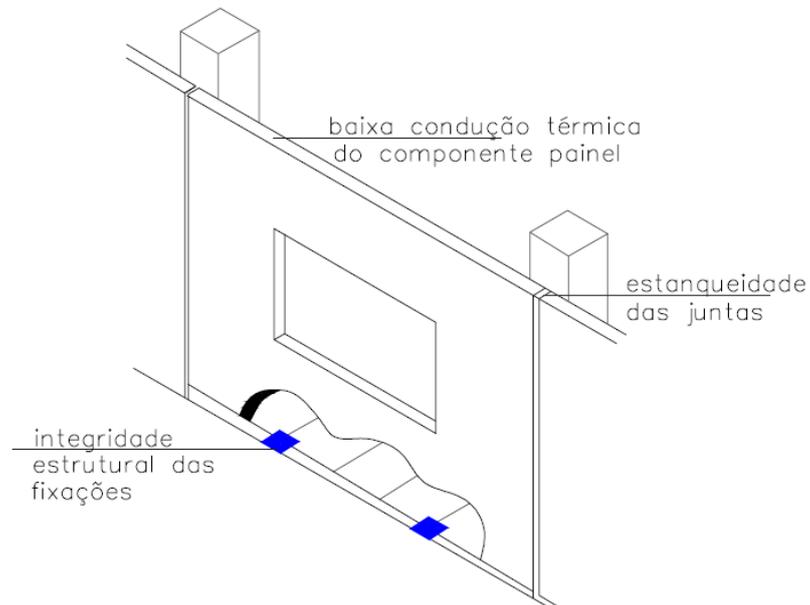
Pela Tabela 10, podem-se ver os índices de redução sonora ponderados dos componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes. Observa-se que em momento algum a Norma refere-se a instalações provisórias.

3.9 RESISTÊNCIA AO FOGO

As fachadas são consideradas elementos de compartimentação e devem apresentar um TRRF igual ao da estrutura principal Figura 28. Então, para atender a essa exigência propõe-se que a resistência ao fogo para as fachadas seja avaliada segundo três aspectos:

- Condução térmica do componente painel, que depende da espessura e dos tipos de agregado do mesmo;
- Integridade estrutural dos dispositivos de fixação, que depende da proteção passiva do mesmo;
- Estanqueidade das juntas, função da utilização de materiais de proteção contra o fogo (proteção passiva das juntas entre painéis), Oliveira, L.A. Sabbatini,

F.H.(2002).

Figura 28: Requisitos de segurança (fogo) para fachadas

Fonte: OLIVEIRA & SABBATINI (2002)

A resistência ao fogo (R) é definida como em função do material isolante e da espessura e do tipo de agregado da camada de concreto. Dada pela equação (31):

$$R = (R_1^{0,59} + R_2^{0,59} + \dots + R_n^{0,59} + as)^{1,7} \quad (\text{equação 31})$$

Sendo:

R : Resistência ao fogo do conjunto todo

R_1 ; R_2 ; R_n : é o tempo de resistência ao fogo de cada elemento (horas)

as : coeficiente para espaços de ar entre $\frac{1}{2}$ " e $3\frac{1}{2}$ " o valor adotado por NBS é 0,3.

Essa equação pode para o cálculo tanto em paredes de alvenarias duplas com espaços entre paredes, alvenarias com blocos grauteados ou combinações de alvenaria de concreto e cerâmica, por exemplo.

A espessura do reboco aumenta a resistência do conjunto ao fogo. A consideração do reboco de cimento Portland na equação 31 é feita adotando sua espessura real e verificando a resistência alcançada por essa espessura, utilizando a Tabela 11.

Os elementos que compõem as fachadas, escopo deste trabalho, são os painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC). Tais painéis são aqueles elementos de vedação compostos de unidades pré-fabricadas, em formas especiais ou padronizadas, com revestimento incorporado em suas faces externas, executados em concreto armado, classificados como pesados, com função de fechamento, fixados na estrutura suporte por meio de dispositivos de fixação metálicos.

De acordo com a ABNT NBR 5627 (1980), o critério básico de classificação das edificações em relação à resistência ao fogo é função do tempo de duração que um elemento estrutural deve resistir.

Os tempos padrões definidos correspondem a 60, 120, 180 e 240 minutos. Segundo a legislação do Corpo de Bombeiros (Decreto Estadual S.P. 46076/2001_ IT08/01), os elementos de compartimentação (incluindo as fachadas, as paredes externas e a selagem dos shafts e dutos) e os elementos estruturais devem apresentar um tempo requerido de Resistência ao fogo (TRRF) no mínimo igual ao da estrutura principal. A determinação desse TRRF é função do tipo de ocupação da edificação e da sua altura, como exemplifica a Tabela 11.

Tabela 11: Tempos requeridos de resistência ao fogo – TRRF

Grupo	Ocupação/ Uso	Altura da edificação (m)					
		Classe P ₁ h ≤ 6m	Classe P ₂ 6 ≤ h ≤ 12	Classe P ₃ 12 ≤ h ≤ 23	Classe P ₄ 23 ≤ h ≤ 30	Classe P ₅ 30 ≤ h ≤ 80	h > 80
A	Residencial	30	30	60	90	120	CT
B	Serviços de hospedagem	30	60	60	90	120	CT
C	Comercial varejista	90	60	60	90	120	CT

CT= Utilizar Comissão Técnica junto ao Corpo de Bombeiros da Polícia Militar

Fonte: (Corpo de Bombeiros –Decreto Estadual46076/2001 – ITO8/01- Anexo A)

Essa tabela só é válida para área dos pavimentos da edificação em que a análise for menor que 750m² (OLIVEIRA & SABBATINI, 2002).

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: é um fator predominante na determinação da resistência ao fogo dos painéis (PCI, 1989).

Como a análise de transmissão de calor é a mais relevante, o aumento de temperatura entre o ambiente interno e externo depende, principalmente, da espessura e dos tipos de agregado do painel (PCI, 1989). A Tabela 12 mostra a relação entre os tempos de resistência ao fogo do painel em função das suas espessuras e do tipo de agregado utilizado.

Tabela 12: Resistência ao fogo de painéis de concreto maciço PCI, (1989)

Tipo de agregado	Espessura em função da resistência ao fogo (mm)			
	1 hora (60min)	2 horas (120min)	3 horas (180min)	4 horas (240min)
Agregados tipo III	67	96	117	136
Agregados tipo II	83	120	146	168
Agregados tipo I	88	127	156	179

Fonte: PCI (1989)

A análise da Tabela 12 e da Equação 31 fornecem o tempo de resistência ao fogo de um painel sanduíche em função da sua espessura, do tipo de agregado utilizado e do material isolante.

A Tabela 13 mostra o tempo de resistência ao fogo na forma, $R_1^{0,59}$

Tabela 13: $R_1^{0,59}$ tempo de resistência ao fogo em função do material isolante.

Material	$R_1^{0,59}$
Material termoplástico tipo poliestireno (>25mm)	2.5
Ar	3.33
50mm de espuma de vidro	10.6

Fonte: Fip,(2012)

Equação 31 $R_1^{0,59}$ função do material isolante e da espessura e do tipo de agregado da camada de concreto.

- Consideram-se como agregados tipo III, os agregados leves como a argila expandida, a vermiculita e ardósia expandida;
- Consideram-se agregados tipo II as pedras calcáreas;
- Consideram-se agregados tipo I os quartzos, granitos e basaltos.

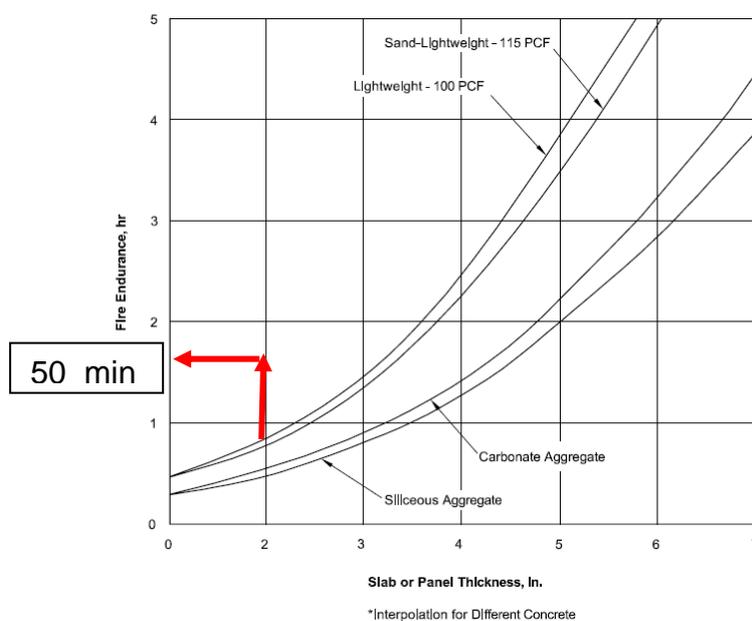
$$R = (R_1^{0,59} + R_2^{0,59} + R_3^{0,59})^{1,7} \quad (\text{equação 32})$$

Para lajes de concreto ou painéis de parede, o aumento da temperatura da superfície não exposta depende principalmente da espessura e do tipo de agregado do concreto.

Outros fatores menos importantes incluem unidade, peso, estado de humidade, teor de ar e tamanho máximo do agregado. Dentro das densidades usuais, relação de materiais cimentícios, água, resistência do concreto e idade têm efeitos insignificantes.

3.9.1 CÁLCULO TEÓRICO DE RESISTÊNCIA AO FOGO, PCI (1989)

A Figura 29 ilustra a determinação a resistência do calor de painel em função da espessura da parede de concreto, sem levar em conta a parte entre as placas que possui uma distância entre si de 10cm.

Figura 29: Resistência ao Fogo

Fonte: PCI (1989)

A espessura da parede do protótipo 2x2,50cm, considerando a soma das duas paredes do protótipo igual a 2", entrando no gráfico tem-se um tempo de resistência ao fogo de aproximadamente 0,8h=50 minutos.

3.9.2 CÁLCULO TEÓRICO UTILIZANDO ABNT NBR 15200

Os tempos entre parênteses podem ser usados em subsolos nos quais a área bruta de cada pavimento seja menor ou igual a 500 m², e em edificações nas quais cada pavimento acima do solo tenha área menor ou igual a 750 m²; estão isentas dos requisitos de resistência ao fogo, estabelecidos nessa Norma as edificações cuja área total seja menor ou igual a 750 m², com até dois pavimentos cuja área total seja menor ou igual a 1.500 m² e carga de incêndio específica inferior ou igual a 1000 MJ/m² (Anexo "A" – ABNT NBR 15200).

Foi considerada Classe de ocupação do Grupo A ou B, Residencial ou para Hospedagem, Classe P1, Serviços profissionais, pessoais e técnicos, obra com altura h<6,0m. Na Tabela A.1, essa norma define os Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minutos. Tempo requerido, resistência ao fogo 30 minutos, área menor que 750m². Pela equação (32), tem-se:

$$t_e = q_{fi} * \gamma_n * \lambda_s * K * W * M \quad (\text{equação 33})$$

Simulação da estimativa do tempo requerido de resistência ao fogo “TRRF” pelo método do tempo equivalente NBR15200:2013.

$$t_e = \text{Tempo equivalente} \quad [\text{min.}]$$

$$q_{fi} = \text{Valor característico de carga de incêndio}$$

$$\gamma_n = \text{Coeficiente que leva em conta a presença de medidas de proteção}$$

$$\gamma_s = \text{Coeficiente de segurança que depende do perigo de incêndio e propagação}$$

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A.(h + 3)}{100000}$$

$$\gamma_{s2} = 0,85$$

$$K = \text{Fator relacionado às características térmicas dos elementos de vedação; pode ser tomado, igual a } 0,07 \text{ min} * m^2 / MJ$$

$$W = \text{Relacionado com altura do compartimento e vedação do ambiente}$$

$$M = \text{Fator de correção que depende do material da estrutura}$$

$$q_{fi} = 300 MJ / m^3$$

$$t_e = q_{fi} * \gamma_n * \lambda_s * K * W * M$$

Define-se “te” como o tempo requerido da obra em situação de incêndio, tempo de sua possível ruína. Para situações ou soluções construtivas não cobertas por esta Norma, o responsável técnico pelo projeto deve usar um procedimento aceito pela comunidade tecnocientífica, acompanhado de estudos para manter o nível de segurança previsto por esta. Essa Norma estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio e a forma de demonstrar o seu atendimento, conforme exigências de resistência ao fogo recomendadas pela ABNT NBR 14432.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que a ABNT NBR15200:2013 não apresenta considerações sobre painéis em situações de incêndio. Temos muito a acrescentar para fazer-se a simulação. Não temos a certeza de que esteja feito de forma segura. Foi analisado no sistema proposto, utilizando conceitos apresentados pela (FIP 2004), onde podem-se comparar os resultados que não foram discrepantes.

Aplica-se às estruturas de concreto projetadas de acordo com a ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 9062. Para situações ou soluções construtivas cobertas de maneira simplificada, o responsável técnico pelo projeto pode usar um procedimento mais preciso, com os requisitos mencionados. Analisando o valor característico da carga de incêndio ou poder calorífico de uma sala comercial, vale em média 60kg/m², KNONER, (1995).

Visto que a maioria das instalações provisórias são normalmente construídas em madeira compensada, o risco de incêndio sempre é iminente.

4.1 SISTEMA PROPOSTO DE INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS

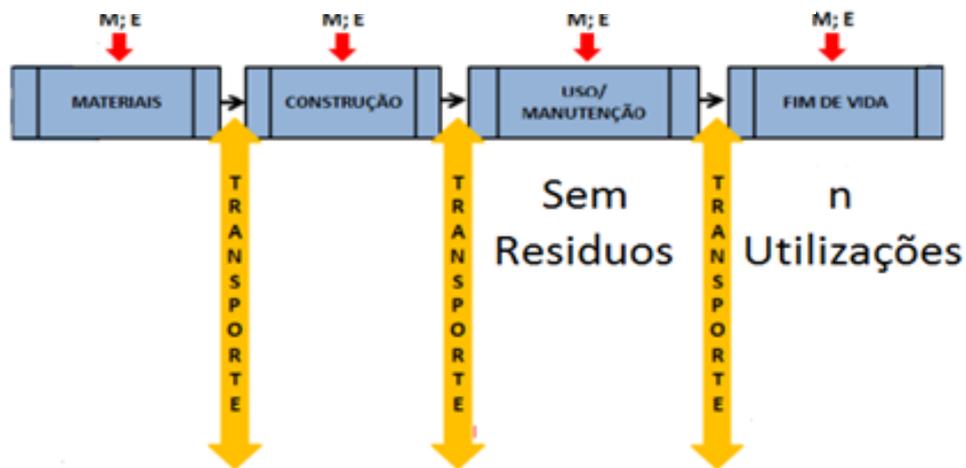
O sistema de pré-moldado de um pavimento foi criado com propósito social, tentar proporcionar uma maneira eficiente de resolver problemas de moradias da classe de baixa renda, obra fácil e economicamente viável e resistente.

Foram construídas várias obras de cunho social e educacional, como moradias, escolas, posto de saúde, creches e escolas onde funcionam perfeitamente e formam-se mais criteriosos, o acabamento não se distancia das obras convencionais, as obras feitas, são consideradas de bom acabamento, funcional atendendo requisitos da ABNT NBR15575. Existem peças de concreto que não atende a ABNT NBR6118, no entanto, a ABNT NBR 9062 ressalta que em casos em que não se conhece numericamente sua resistência, as peças devem ser ensaiadas, e isso foi feito no caso dos montantes as peças foram todas ensaiadas, e se tem os resultados a favor do que se propõe.

4.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Pode-se observar o ciclo de vida de uma instalação provisória iniciando a primeira montagem, e na sequência a desmontagem e remontagem a criação mínima de resíduos por descuido ou mau uso de peça, do protótipo, ou eventual acidente no momento de transporte ou montagem Figura 30.

Figura 30: Fases do ciclo de vida de edificações



Fonte: Adaptada, SILVA *et al*, (2011)

O sistema propõe uma obra de instalação provisória que venha ao encontro das necessidades existentes, ofereça uma opção que venha dar uma face social que venha agradar não somente ao funcionário, mas a empresa também, ter uma opção que venha preencher uma lacuna, que tanto se fala, mas pouco se faz. Com relação aos custos, pode-se imaginar um custo inicial talvez não tanto competitivo, mas ao longo do seu uso o custo se dilui a apenas o custo de mão de obra de montar e desmontar. O sistema é bom no sentido de segurança, idealizado com projeto que pode ser modulado, dimensionado da forma que melhor convir.

Assim, dificilmente até o momento, um sistema mostra-se com capacidade de atender a todos os quesitos preconizados. Por isso, há a necessidade de se propor um sistema que possa atender a uma maior parte dos itens, levando em consideração principalmente a qualidade de vida do operário, (NR-18, (2013).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos

Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

A ABNT NBR 15575-1 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-02), pela Comissão de Estudos de Desempenho de Edificações (CE-02.136.01). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 10, de 28.09.2007 a 27.11.2007, com o número de Projeto 02:136.01-001/1.

A ABNT NBR 15575, sob o título geral “Edificações habitacionais — Desempenho”, tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

No desenvolvimento dos ensaios do sistema construtivo em instalações provisórias para canteiro de obras, procurou-se aplicar alguns dos ensaios que a norma de desempenho preconiza, talvez os mais importantes que considera-se.

Normas de desempenho são estabelecidas buscando atender às exigências dos usuários, referem-se a sistemas que compõem edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado.

O foco desta Norma está nas exigências dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos.

A forma de estabelecimento do desempenho é comum e internacionalmente pensada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais sempre permitem a mensuração clara do seu cumprimento. ABNT NBR 15575, (2013)

4.3 ANÁLISE INICIAL DO SISTEMA PROPOSTO

Propõe-se um sistema onde os materiais são obtidos facilmente e as peças de concreto que compõem a construção podem ser fabricadas no canteiro da obra. A fabricação das placas e dos montantes, caso optar por fundações tipo radier, e se optar por vigotas no respaldo para unir as paredes, essas vigotas podem ser fabricadas no interior da própria obra. O uso de formas metálicas permite uma reutilização de mais de 3500 vezes (MENEGOTI, 2005).

Essa mesma forma permite uma modulação para instalações provisórias e o uso para qualquer outro tipo de obra, classificado aqui de um pavimento. O ciclo de vida do sistema permite a reutilização quantas vezes forem necessárias (n vezes), Figura 30. Neste caso a instalação pode ser desmontada e reconstruída em outro local, sem gerar resíduos.

- a) **Autoconstrução:** Permite a autoconstrução;
- b) **Reaproveitamento:** O material é reaproveitado;
- c) **Modulação:** Permite modulação;
- d) **Conforto:** Atende a norma de desempenho, de acordo com os ensaios realizados e as simulações teóricas;
- e) **Rapidez na execução:** Sim;
- f) **Segurança:** Sim;
- g) **Adaptabilidade:** Sim;
- h) **Custos:** Baixo custo inicial e custo de mão de obra de um pedreiro e um servente;
- i) **Durabilidade:** É durável (mínimo 50 anos);
- j) **Resíduos:** Baixa quantidade de resíduos iniciais ao longo do uso não produz resíduos;
- k) **Acústica:** Verificação teórica;
- l) **Incêndio:** Verificação teórica suporta 32 minutos de incêndio; atende a ABNT NBR15575, NÍVEL MÍNIMO “m”;
- m) **Atraso Térmico:** Possui um atraso térmico de 2,2h;
- n) **Estrutura:** Não atende a ABNT NBR 6118, Item 13.2.3, define área mínima em $A=360\text{cm}^2$. A ABNT NBR 9062 Item 5.2.6, permitida a constatação

experimental da capacidade portante, mediante ensaios conclusivos, os elementos classificados como pré-fabricados podem ser ensaiados. Nos ensaios foi atendido, $\gamma > 2$;

- o) **Estanqueidade:** Atende a ABNT NBR 15575 nível superior “S”;
- p) **Corpo mole:** Atende a ABNT NBR15575 nível mínimo “M”;
- q) **Corpo duro:** Atende a ABNT NBR15575, nível mínimo “M”;
- r) **Carga suspensa:** Atende ABNT NBR15575, nível superior “S”;

Diferentemente dos painéis sanduíche, o sistema proposto é constituído por placas separadas por uma camada de ar, isolando a camada interna da externa. Devido ao seu reduzido peso (27 kg em média), cada placa pré-moldada pode ser transportada e colocada na posição definitiva por uma pessoa, sem a necessidade de equipamentos mecânicos. Além disso, são fixadas em montantes diretamente na obra por meio de buchas e parafusos, sem a necessidade de conectores específicos. As instalações podem ser facilmente localizadas entre as placas, juntamente com a montagem da estrutura.

4.4 ASPECTOS RELEVANTES SOBRE O SISTEMA PROPOSTO

Os sistemas de instalações provisórias precisam atender uma série de demandas conforme mostrado e relacionado a seguir:

1. A obra não possui vigas de baldrame;
2. As paredes são formadas com placas de concreto externo e internamente, e fixadas em montantes com parafusos e buchas, a uma distância variável entre si;
3. Na parte superior da parede é deixado um espaço entre as placas para concretagem de uma viga de respaldo, podendo ser pré-fabricada, unindo todas as paredes*, essa viga é confinada entre as placas dispensando qualquer tipo de caixaria para a concretagem;
4. As paredes não são rebocadas, apenas rejuntadas com massa corrida e pintadas, usando massa de vedação entre a placa inferior a superior que compõe a parede externa;
5. Todos os pontos elétricos, caixa de passagem, interruptores, tomadas já vêm

- fundidas (colocadas) no momento da concretagem das placas;
6. As luvas das tubulações hidráulicas – água fria e quente – também são fundidas no momento da concretagem das placas;
 7. As tubulações elétricas, telefônicas e hidráulicas permanecem no interior, entre as placas de concreto (no vazio);
 8. Os batentes de porta e janelas são de encaixar entre os montantes é de fácil colocação, podem ser pré-moldados;

Figura 31: Acabamento interno de uma sala de aula



Fonte: O autor

Pode-se observar a facilidade na montagem utilizando o mínimo de mão de obra possível e o bom acabamento do sistema proposto Figura 31. Esse sistema pode ser empregado em diversas aplicações, como escola, moradia, escritório Figura 29, posto de saúde, creche, entre outras edificações; até o momento, os estudos foram voltados apenas para edificações térreas. Edificações que podem cobrir uma imensa quantidade de obras, que podem ser feitas em um pavimento. A figura 32 é um exemplo de uma escola feita toda em pré-moldado nesse sistema, e funciona há mais de 10 anos, apresenta boa qualidade, sensação de um bom desempenho térmico e acústico. O acabamento interno é de boa qualidade e satisfaz o usuário em condições ainda melhores do que alvenaria de tijolos.

Figura 32: Protótipo de canteiro de obra, construção no campus da UFSCar



Fonte: O autor

A proposta em questão, que visa à aplicação em instalações provisórias em canteiros de obras, pode ser facilmente atendida, tendo em vista a praticidade de montagem e desmontagem sem perdas, reaproveitamento do modelo proposto e sem geração de resíduos. Figuras 32 e 33.

4.5 DEFINIÇÕES DAS PEÇAS DE CONCRETO DO SISTEMA

As peças de concreto compõem as fundações e o fechamento das paredes da obra, em concreto convencional, conforme descrito abaixo.

4.5.1 PLACAS DE CONCRETO

Constituído por concreto, cimento, areia, brita zero e tela com malha de 1/(1/2)" diâmetro médio 0,66mm, $f_{yk}=320\text{MPa}$, concreto de resistência característica $f_{ck}=20\text{MPa}$, com as seguintes dimensões (1,0mx0,50mx 2,5cm), com peso médio de 30kg.

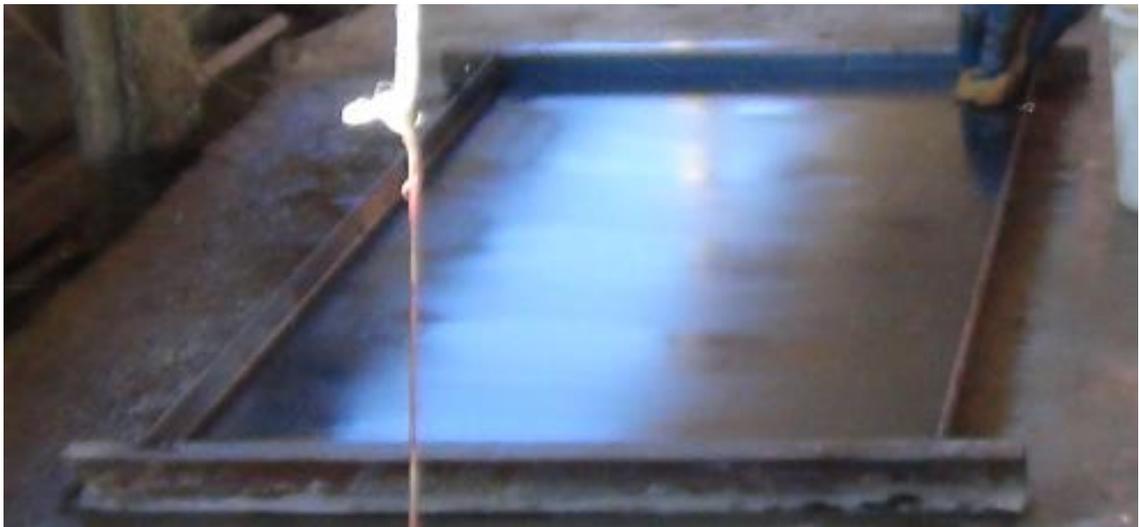
A boa execução se inicia na fabricação das placas, que devem ser muito bem construídas, com verificação dos esquadros e da espessura. Pontos onde devem estar as furações, nos montantes e nas placas e formas bem fabricadas são meio

passo para fabricação de boas peças de pré-moldado.

No momento da cura do concreto ainda nas formas, estas devem estar bem niveladas para que a placa fique bem moldada. Tem acontecido que, por mínimo que seja, quando as formas não se encontram em perfeito nível, a placa muitas vezes fica torcida, e será descartada no momento de sua colocação.

A Figura 33 mostra o preparo da forma metálica e a colocação em um local que esteja milimetricamente nivelado.

Figura 33: Forma tanto dos montantes como das placas (madeira e metálica)



Fonte: O autor

Após passar desmoldante, e verificado um volume de concreto para depois colocar a tela que faz o papel de armaduras, ideal é tela com diâmetro de 1,0mm e com malha # de 1", que é recortada nas dimensões da forma, com um gabarito, e é presa enquanto vem o volume final de concreto na forma.

A Figura 34 mostra a concretagem com a tela posicionada, com um gabarito para dar o cobrimento necessário da tela.

Figura 34: Concretagem, colocação da tela galvanizada



Fonte: O autor

Em 12h a placa é desmoldada onde permanece curando, e as formas são liberadas para próxima concretagem, passado o tempo de cura a peça de concreto pode ser usada na montagem das paredes (Figura 35).

Figura 35: Placa de concreto usada no fechamento formando as paredes



Fonte: O Autor

Pela Figura 35, pode-se ver uma placa desformada, pronta para ser usada na montagem da parede.

4.5.2 MONTANTES

Constituídos de cimento, areia, brita zero, resistência característica à

compressão do concreto de 20 MPa, armadura 4 ϕ 6,3mm com aço CA-50, estribos de 4,2mm c/12cm com aço CA-60, com as dimensões: (12cmx10cm) com comprimento de 70cm (parte enterrada, fundações) mais (10cmx10cm), na altura do pé-direito que pode variar de 2,60m a 3,20m. Na base do montante foi dimensionado um elemento de fundação para distribuição das cargas sobre o solo e onde o montante é apoiado.

É utilizado esse elemento onde o solo é considerado de baixa resistência. Normalmente é usada simplesmente uma camada de brita com areia na altura de 15 cm e compactada, antes de ser colocado o montante. Os montantes são aprumados e alinhados e postos em uma cava no solo; o solo é repostado ao seu redor e compactado, sendo o suficiente para permanecer na posição desejada.

Para fabricação dos montantes, usa-se o mesmo procedimento, uso de desmoldante e colocação das armaduras. Os furos onde serão fixadas as placas devem ficar entre as armaduras; um descuido os furos podem ficar fora, prejudicando a resistência do montante.

A Figura 36 mostra a posição das armaduras. Devem ser observadas as bitolas, respeitado o espaçamento dos estribos.

Figura 36: Armadura dos montantes estruturais



Fonte: O autor

As armaduras devem ser conferidas, garantindo-se um cobrimento mínimo das. A peça é concretada, vibrada e posta rigorosamente em nível, garantindo uma boa modelagem e cura. A Figura 36 e 37, mostra a forma do montante e a armadura com os estribos, que estas sempre devem ser conferidas antes de ser colocadas na forma.

Ressalta-se a importância de se colocar a forma, logo após a concretagem, em posição milimetricamente em nível; caso a peça fique curada levemente torcida, as dificuldades do uso da peça serão vistas no momento da execução do levantamento das paredes. Para as placas deve-se seguir o mesmo procedimento.

Figura 37: Detalhe da forma e armadura que compõem o montante

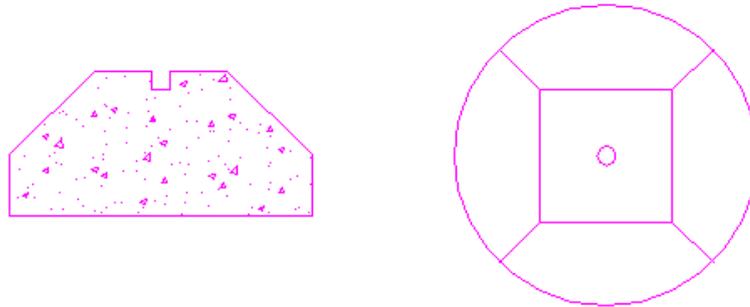


Fonte: O autor

As formas são preparadas, niveladas e limpas antes que seja passado desmoldante. A forma dos montantes possui duas medidas, parte que fica enterrada com medidas de 12x10 comprimento de 70cm, onde possui um apoio para posicionamento da primeira placa.

Os furos para fixação das placas são posicionadas entre as armaduras longitudinais. Na parte inferior do montante, é concretado juntamente uma peça guia para posicionamento no elemento de fundação no qual o montante é colocado Figura 38.

Figura 38: Elemento de fundação na parte superior é posicionado o montante



Fonte: O autor

Figura 39: Fixação das placas nos montantes, montagem de um painel no solo



Fonte: O Autor

Nivelando os montantes no solo é possível que as placas sejam aparafusadas ainda no solo e fixadas com buchas de PVC; após a fixação de todas as placas em seus devidos montantes, resulta um painel que poderá ser erguido no local como painel tipo *tilt-up*, conforme Figura 39 e Figura 40. A fixação das placas faz com que o painel torne-se rígido e de maneira fácil de se posicionar no local onde se formará a parede. Moradia construída na cidade de Candói (Figura 40).

Figura 40: PAINEL MONTADO E POSICIONADO

Autor: O autor

A montagem das placas também pode ser no local da obra, facilitando o manuseio e a montagem, que pode ser feito por uma ou duas pessoas. É feita uma abertura no solo de aproximadamente 90cm de profundidade, regularizada com brita e areia, e sobre essa camada é colocado um elemento de fundação em concreto, isto para distribuição das cargas no solo.

Figura 41: Construção de 75m² na cidade de Candói, interior do Paraná

Fonte: O autor

Após a marcação da obra (gabarito), os pontos no solo são marcados para perfuração. Os montantes são apoiados sobre o elemento de fundação aprumado, nivelado e seu redor preenchido com o próprio solo compactado.

Após esse trabalho realizado se dá o início da colocação das placas de concreto que já vêm previamente furada.

Nos furos são colocadas as buchas de PVC e fixadas as placas, que são fixadas até a altura do peitoril onde será posta a esquadria, e esta é colocada de cima para baixo (vestindo o montante do seu topo até o nível do peitoril) para baixo, Figura 42, as paredes são rejuntadas, e caso se queira é passada massa corrida e pintada, permitindo um excelente acabamento figura 43.

A execução desse sistema permite que façam as partes, sem prejuízo em tempo de execução. Pode-se observar na Figura 40.

As partes em que as ainda não foram colocadas, facilitando as instalações hidráulicas e a elétricas.

Observa-se a limpeza da obra, e que a quantidade de resíduos é a mão de obra é mínima, o que faz a obra tornar-se de baixo custo e sem perda de qualidade.

Figura 42: Detalhe da Janela



Fonte: O autor

Na parede externa simplesmente é passada textura, e as pequenas reentrâncias são facilmente encobertas. Em seguida, ao receber uma camada de

textura na cor desejada, resulta um excelente acabamento.

A Figura 43 mostra acabamento como qualquer outra obra convencional, sem que se perceba que a obra é de pré-moldados, com acabamento de boa qualidade e padrão excelente para obras de um pavimento.

Figura 43: Paredes acabadas sem uso de chapisco e sem uso de reboco



Fonte: O autor

Assim, pode-se ver que os montantes são enterrados até altura de 70cm, onde já vem com um apoio para que se coloque a primeira placa. Na parte inferior do montante é colocado um elemento de fundação conforme Figura 38.

4.5.3 ESQUADRIAS

As janelas são encaixadas e simplesmente confinadas entre os montantes e o peitoril defini. São fixadas entre os montantes, na parte superior da janela, às placas que definem a parede. Não é possível a retirada das esquadrias sem que se desmonte o painel. (Figura 41, 42, 43).

Podem ser em alumínio, madeira ou utilizado na construção do protótipo em chapas de aço. Segundo o projeto as esquadrias são de fácil colocação

simplesmente são encaixadas e de forma segura e confinadas sem a necessidade de ajustes e fixação com poliuretano ou parafusos de fixação.

A esquadria é confinada entre os montantes e placas que impossibilitam sua retirada sem remover e desmontar as placas superior à da janela.

A colocação das janelas deve respeitar a sequência da obra e ser montada no momento certo, não poderá ser montada caso colocar as placas superiores sem que a janela n esteja no seu lugar.

As janelas são de fácil colocação sem uso de enchimento ou uso de parafusos. Sua fixação simplesmente é posta em seu lugar e suficiente mente segura e impossível de sua retirada sem desmontar a parte superior da parede. Toda obra pode ser desmontada e remontada em outro local com facilidades.

Uma das dificuldades é que as peças de concreto são mais pesadas que Madeirit e exige certo cuidado para que não ocorra acidentes. Outro detalhe importante é a precisão com os alinhamentos e aprumos.

A obra se torna de fácil execução respeitando princípios básicos como nível, aprumos, alinhamentos e sem observar esses detalhes a obra se tornará difícil e complicada de ser executada.

As esquadrias são projetadas para facilitar a montagem, são peças de chapas de aço dobradas permitindo facilmente sua colocação e impossibilitando a entrada de água e o desconfortável assovio em tempo de ventos e chuvas.

As esquadrias podem ser de projetadas em alumínio ou até mesmo em madeira Figura 44.

construção com elementos pré-fabricados em concreto, que incide em pré-fabricar elementos na indústria, utilizando-se de processos mecanizados com um maior controle tecnológico dos elementos e trazer para o canteiro os elementos já prontos, podendo estes ser reaproveitados em outras obras.

A obra não possui vigas-baldrames, as paredes são formadas com placas de concreto externo e internamente, são fixadas em montantes com parafusos e buchas a uma distância ajustável entre si; na parte superior da parede é fixado um perfil "U" metálico entre as placas ou uma vigota de concreto que pode ser construída em forma de uma soleira para enrijecimento, unindo todas as paredes.

As paredes não são rebocadas, apenas rejuntadas, com aplicação de massa corrida e pintadas Figuras 42, 43 e 45.

Todos os pontos elétricos, caixa de passagem, interruptores, tomadas, já são fundidas (colocadas) no momento da concretagem das placas.

As luvas das tubulações hidráulicas - água fria e quente – também são posicionadas no momento da concretagem das placas.

As tubulações, tanto elétricas, telefônicas como hidráulicas permanecem no interior entre as placas de concreto. Os batentes de porta e janelas são de concreto e são encaixados entre os montantes e de fácil colocação.

O custo do painel de parede do sistema construído proposto para instalação provisória de canteiros somando matérias de placas de concreto pilar e ferragens pinturas e mão de obra, correspondentes a 1,0 m² de parede o valor fica abaixo dos preços dos demais sistemas apresentados.

Tomando como base o custo por m² de parede uma vez que os demais itens são praticamente os mesmos como, pisos, ponto de água, luz e cobertura.

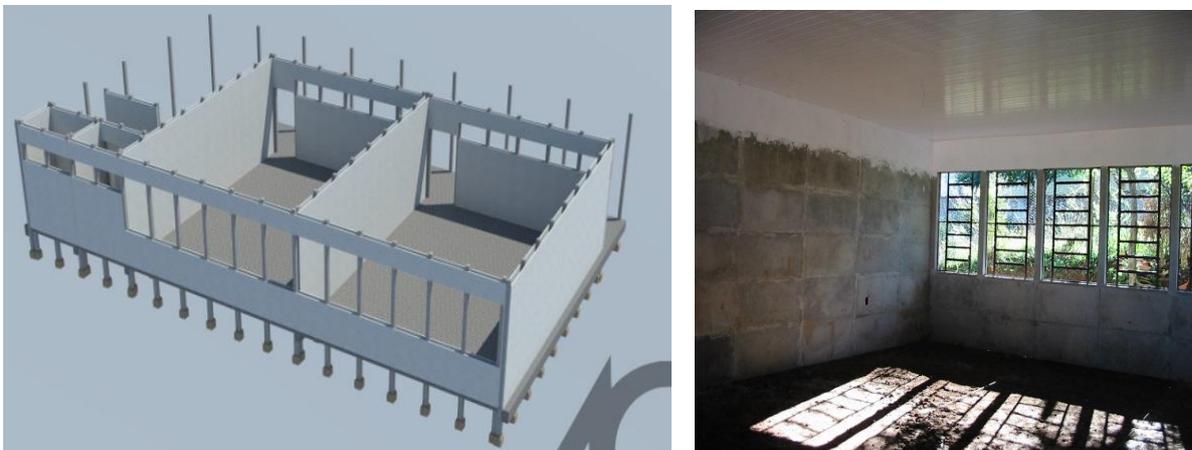
Figura 45: Fachada de uma escola construída na cidade de Guarapuava



Fonte: O autor

Observa-se o acabamento de uma escola na Figura 45, escola esta que por mais de 10 anos vem atendendo expectativas de uma instituição particular. Encontra-se em perfeito estado de conservação e passou por uma pintura externa.

Figura 46: Esquema de montagem (sala de aula em fase de acabamento)



Fonte: O autor

Os elementos que dão estabilidade à obra são montantes que distribuem uniformemente as cargas no solo Figura 46, as paredes receberão apenas regularização com massa corrida e pintura, permitindo boa aparência e baixo custo.

Assim como em qualquer edificação composta por estrutura pré-moldada, é necessário um cuidado especial quanto ao alinhamento e nivelamento dos elementos, para que seja possível a ligação adequada entre as partes. Assim, as

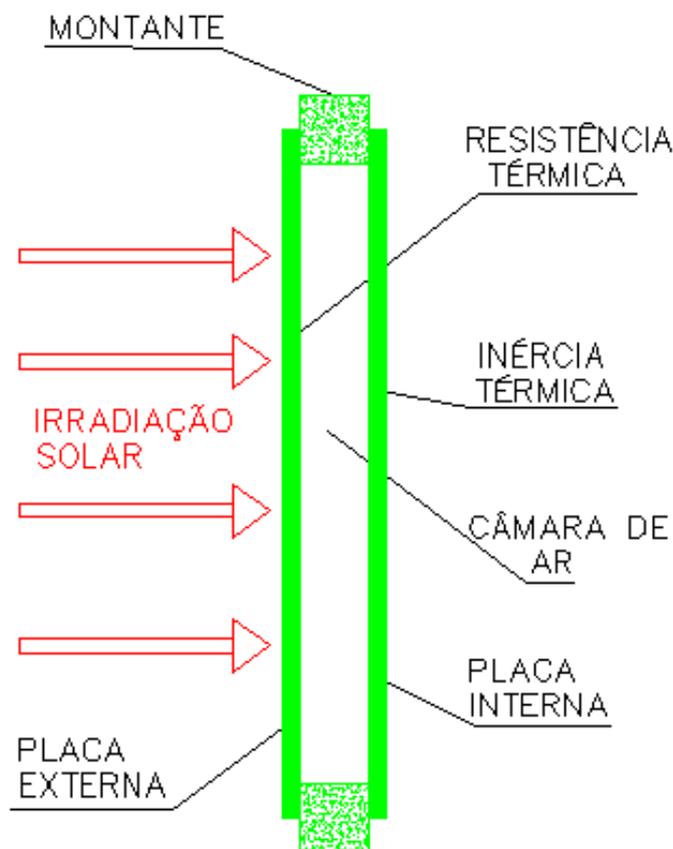
medidas definidas em projeto devem ser seguidas com rigor para que a ligação entre os elementos.

4.6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO - ABNT NBR 15220

A Figura 46, exemplo da parede do protótipo, pode-se ver a posição das placas bem como o montante, e entre elas formando assim a ossatura da obra.

As placas de concreto com dimensões de 100x50x2,5cm, e o montante, parte da fundação 12x10x70cm mais 10x10cm com comprimento podendo variar de 250cm a 400cm, de acordo com a necessidade. Placas duplas de vedação com ossatura - montantes armados em concreto - formam um painel que podem ser ou não montados em solo e erguidos com o sistema *tilt-up*, com módulos de 1,0m de largura.

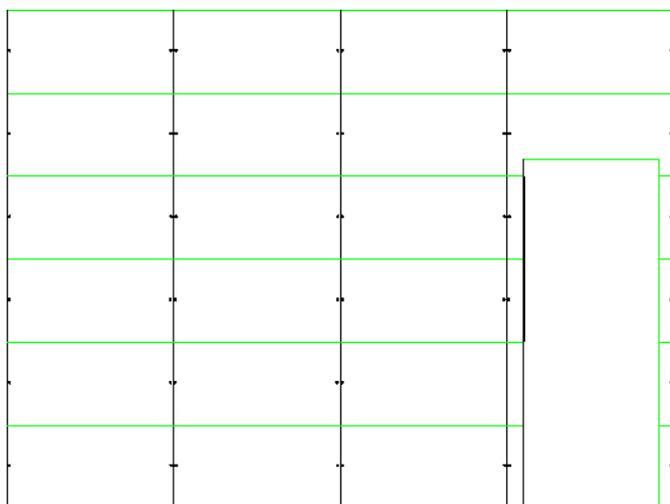
Figura 47: Vista em planta da parede com duplas placas, em planta.



Fonte: O autor

Parede que compõe o protótipo vista de um lado, Figura - 48 pode-se ver a posição da fixação das placas de concreto, esta é feita com parafuso diâmetro de 8mm. A cabeça do parafuso pode ficar aparente ou escondida em rebaixo na placa, recobrimo com massa a pós a colocação. Figura - 41 e figura – 42 a placa na parte superior da porta é de 40x100x2,5cm esta placa menor que as demais, no caso do protótipo apenas duas placas tem medidas diferentes, a máxima padronização facilita a montagem. Conjunto de placas e montantes geram uma parede Figura 48. E 50.

Figura 48: Parede formada por placas em concreto

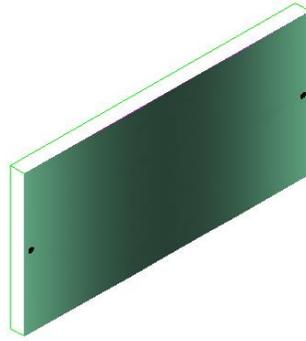


Fonte: O autor

Observa-se que entre as placas de concreto existe uma câmara de ar (vazio), que pela ABNT NBR 15220, classifica como resistência térmica de câmara de ar não ventiladas, ou ventiladas, de acordo com a Tabela B5, com largura muito maior que seu comprimento, e reduz a absorvência, e emissividade “ ϵ ”, forma um isolamento no painel como um todo.

Será visto em seguida, calculando sobre a parede, (painel de vedação) o efeito de irradiação solar, placa de fechamento interno e externo, placa de concreto (fechamento interno e externo), espessura variável atendendo desempenho Térmico, Acústico, Segurança e tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF).

Figura 49: Placa de fechamento em concreto pode ser com espessura variável



Fonte: O autor

A espessura da placa pode ser ajustada em função da região Bioclimática Brasileira, aumentando ou diminuindo a inércia térmica Figura 49.

4.7 CÁLCULO DO DESEMPENHO DO SISTEMA PROPOSTO

Usando a norma da resistência térmica, de incêndio, e de acústica procuramos simular o desempenho da parede formada por placas no sistema proposto.

Pelo fato do protótipo ainda não ter ficado pronto esses ensaios foram simulados através dos conceitos existentes na norma correspondente.

Os demais ensaios como carga axial no montante, carga suspensa estanqueidade, corpo mole e corpo duro foram realizados no NETPRE.

4.7.1 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA

1-a) Utilizando o painel de vedação do sistema proposto podemos determinar o desempenho térmico de edificação, métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

Dados:

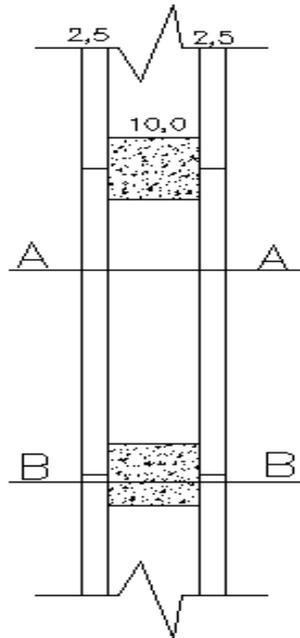
ρ concreto = 2400 kg/m³

λ concreto = 1,75 W/(m.K, (ver tabela B.3 da NBR 15220, 2ª parte)

Calor esp, concreto = 1,00 kJ/(kg.K) (ver tabela B.3 da NBR 15220, 2ª parte)

Para a câmara do ar, $R_{ar} = 0,17(m^2.K)/W$ (tabela B.1, superfície de alta emissividade implica em $\varepsilon > 0,8$ sendo a espessura da câmara de ar = 10,0 cm, implica em $e > 0,5$ fluxo horizontal) Figura 50.

Figura 50: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada



Fonte: O autor

4.7.2 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DA PAREDE DO PROTÓTIPO

Sendo que: $e_{concreto} = 2,5\text{cm}$ espessura da placa externa
 $\lambda_{concreto} = 1,75$, tabela 3 da NBR 15220

- Resistência térmica da seção "A"

- Seção $A_a = (\text{concreto} + \text{ar} + \text{concreto}) = 0,50 \cdot 0,90 + 0,90 \cdot 0,50 + 0,50 \cdot 0,90 = 1,35\text{m}^2$

$$R_a = \frac{e_{CONCRETO}}{\lambda_{CONCRETO}} + R_{ar} + \frac{e_{CONCRETO}}{\lambda_{CONCRETO}} = 0,198(m^2.k)/W$$

- Resistência térmica da seção "B"

- Seção, $A_b = (\text{concreto} + \text{concreto} + \text{concreto}) = (0,10 \cdot 0,50 + 0,1 \cdot 0,50 + 0,10 \cdot 0,50) = 0,15\text{m}^2$

$$R_B = \frac{e_{CONCRETO}}{\lambda_{CONCRETO}} + \frac{e_{Pilar,concreto}}{\lambda_{CONCRETO}} + \frac{e_{CONCRETO}}{\lambda_{CONCRETO}} = 0,11(m^2.k)/W$$

Portanto a resistência térmica da parede será:

$$R_t = 0,184 (m^2.k)/W$$

a) Resistência térmica total:

$R_{si}=0,13$ (tabela A.1.pag 7, parte 2) direção do fluxo de calor horizontal.

$R_{se}=0,04$ (tabela A.1.pag 7, parte 2) direção do fluxo de calor horizontal.

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} ,$$

$$R_T = 0,35(m^2.K)/W$$

4.8 TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

Inverso da resistência térmica é dado pela tabela N°2

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,354}$$

$$U = 2,8(W/(m^2.k))$$

4.9 CAPACIDADE TÉRMICA DA PAREDE

e: espessura da placa, 2,5cm

c: calor específico do material (concreto), 1,00 kJ/(kg.K)

ρ : densidade da massa aparente do material, 2400 kg/m³

Para seção "A"

$$C_{Ta} = \sum_{i=1}^3 ei.ci.\rho_i = (e.c.\rho)_{CONCRETO} + (e.c.\rho)_{ar} + (e.c.\rho)_{CONCRETO}$$

$$C_{Ta} = 120KJ/(m^2.K)$$

Para seção "B"

$$C_{Tb} = \sum_{i=1}^3 ei.ci.\rho_i = (e.c.\rho)_{CONCRETO} + (e.c.\rho)_{CONCRETO} + (e.c.\rho)_{CONCRETO}$$

$$C_{Tb} = 360 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$$

Portanto a capacidade térmica da parede será:

$$C_T = 147 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$$

4.9.1 ATRASO TÉRMICO EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DA PAREDE “ φ ”

$$Rt = 0,198 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Wq}$$

$$B_0 = C_T - C_{T_{ext}} = 60$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{Rt},$$

$$B_1 = 73,69$$

$$B_2 = 0,205 \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{ext}}{R_t} \right) \left(R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right),$$

$$B_2 = -0,002$$

B2 é desconsiderado de acordo com NBR15220, pois o valor deu negativo.

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2}$$

$$\varphi = 1,382 \cdot R_t \cdot \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 * 0,184 * \sqrt{73,69} = 2,18 \cong 2,20 \text{ horas}$$

(obs. Caso a parede fosse de tijolos rebocado o tempo de atraso seria 1,8h)

5 FATOR SOLAR

$$F.S_0 = 100 * U * \alpha * Rse$$

$F.S_0 = 100 * U * \alpha * Rse = 100 * 2,17 * 0,2 * 0,4 = 2,18\%$ utilizando a cor externa branca, temos ($\alpha = 0,2$):

$F.S_0 = 4 * 2,71 * 0,2 = 2,18\%$, fator de ganho de calor solar de elementos transparentes ou translúcidos. Para valores de $\alpha > 0,2$, a parede será mais escura, portanto, logo MAIOR será a radiação transmitida.

Caso esse protótipo fosse construído em Caxias do Sul RS., a estratégia Bioclimática seria ABCF,(estratégia Bioclimática recomendável) “1”, (indica zona Bioclimática na qual a cidade está inserida).

A – Zona de aquecimento artificial (calefação).

O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.

B – Zona de aquecimento solar da edificação.

A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para aperfeiçoar o seu aquecimento no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.

C – Zona de massa térmica para aquecimento.

A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.

F – Zona de desumidificação (Renovação do ar).

As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

Fato de estar construída em São Carlos, a estratégia Bioclimática a ser usada e de acordo com NBR15220, seria BCDEFI, (estratégia Bioclimática recomendável), “4”, (indica zona Bioclimática na qual a cidade está inserida).

C – Zona de massa térmica para aquecimento.

A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.

D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade).

Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).

E - Zona de conforto térmico (não precisa fazer nada).

Caracteriza a zona de conforto térmico.

F – Zona de desumidificação, (Renovação do ar).

As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

I - Zona de massa térmica de refrigeração, ou ventilação.

Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

Fato de estar construída em João Pessoa PB, a estratégia Bioclimática a ser usada e de acordo com NBR15220, seria FIJ, (estratégia Bioclimática recomendável), “8”, (indica zona Bioclimática na qual a cidade está inserida).

F – Zona de desumidificação, (Renovação do ar)

As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.

I - Zona de massa térmica de refrigeração, ou ventilação

Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.

J – Zona de ventilação ou refrigeração

A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação, Também se deve atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.

6 SIMULAÇÃO NUMERICAMENTE DA ACÚSTICA DO SISTEMA PROPOSTO

O trabalho analisa resultados experimentais, numéricos e analíticos relativos à perda de transmissão sonora (PT) de duas paredes em concreto, existindo uma câmara de ar no seu interior, e compara estes com dados existentes na bibliografia. A determinação experimental.

A intenção era ter concluído o protótipo e fazer a simulação no local. Visto que essa obra encontra-se iniciada, em andamento, mas até a presente data por força maior não concluímos para que fosse feito esse tipo de ensaio no local.

A transmissão sonora foi realizada segundo a norma ISO 140-3. - Cálculo da frequência de ressonância, considerando duas placas e com uma câmara de ar entre elas, distante de $d=10\text{cm}$

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{\rho(m_1 + m_2)}{d(m_1 * m_2)}} = \frac{340}{6,28} \cdot \sqrt{\frac{1,18 \cdot 62,5 + 62,5}{0,10 \cdot 62,5 * 62,5}} = 34\text{Hz}$$

ρ : massa volumétrica do ar (1,18kg/m³)

c: velocidade de propagação do som no ar (340m/s)

f_0 : frequência de ressonância massa-mola-massa [Hz]

d : espessura da camada de ar (m)

m_1 e m_2 : massa superficial das paredes (kg/m²)

- Cálculo do nível de pressão sonora NSP

$$NSP = 20 \log^* \frac{P}{P_{ref.}} = 20 \cdot \log \cdot \frac{0,0337}{0,00002} = 64,50\text{dB}$$

- Cálculo da rigidez dinâmica à flexão

$$B = \frac{E * h^3}{12(1 - \nu^2)} = \frac{2,0 \times 10^9 * 0,10^3}{11,99} = 166800\text{N.m}$$

Sendo:

E:módulo de Young [N/m²]

h:espessura da parede [m]

ν : coeficiente de poisson

- Cálculo da velocidade sonora no meio material:

$$\omega = \left(\frac{c}{\sin\theta} \right)^2 \sqrt{\frac{\rho \cdot h}{B}} = \frac{340}{1} \cdot \sqrt{\frac{2500 \cdot 0,05}{166800}} = 3164 \text{ m/s}$$

Considerado $\theta=90$.

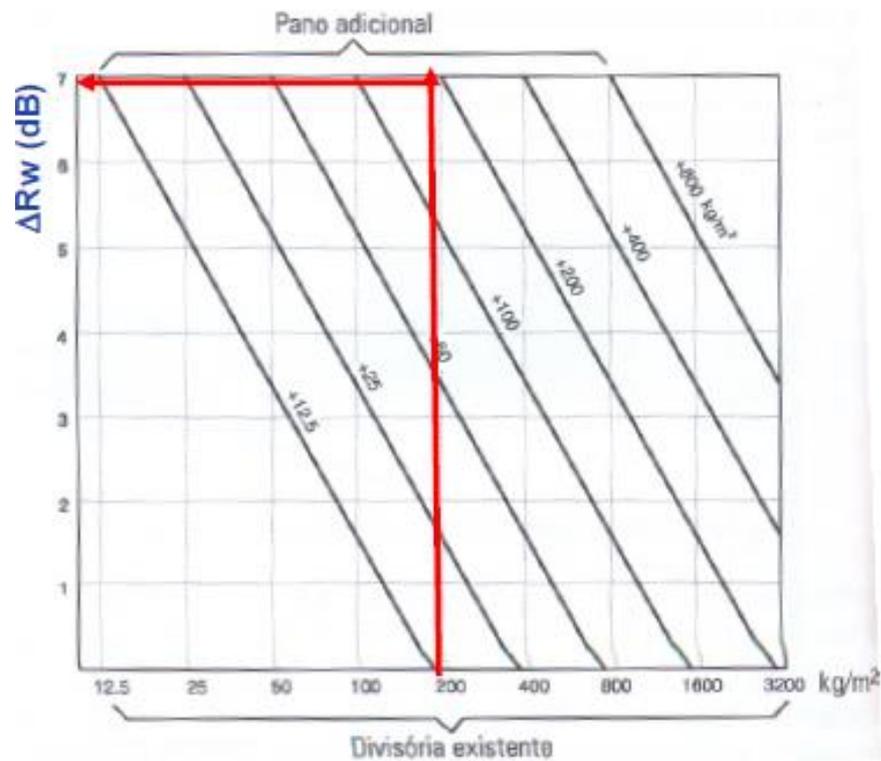
- Cálculo da frequência crítica, (equação 24):

$$f_c = \frac{c^2}{1,8138 \cdot h} \cdot \sqrt{\frac{\rho_m (1-\nu)^2}{E}} = \frac{340^2}{1,83138 \cdot 0,05} \cdot \sqrt{\frac{2500 \cdot (1-0,3)^2}{2,0 \cdot 10^9}} = 988,0 \text{ Hz}$$

O índice de ruído da frequência crítica com a frequência de 988Hz. A parede fica sem redução sonora.

- Cálculo do Índice de Redução Acústica, "R" em dB, é representado pelo ábaco 01.

Figura 69: Ábaco 01

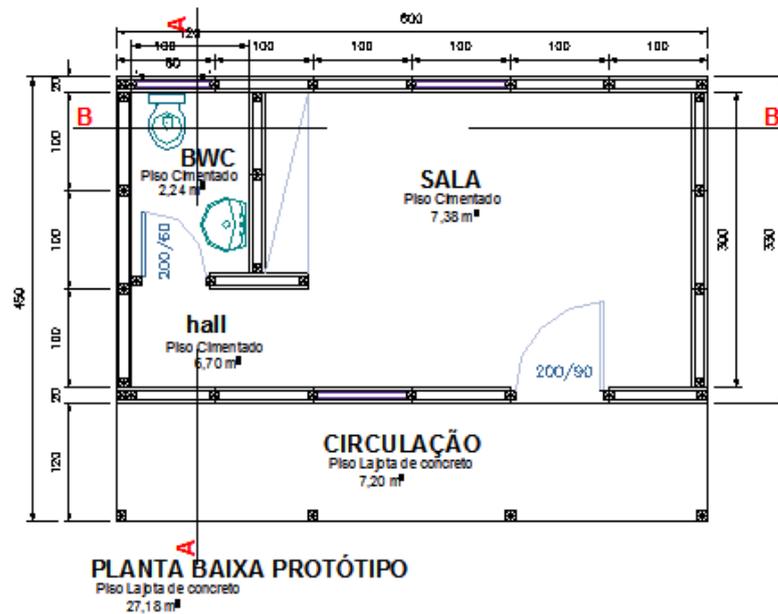


Fonte Laça, (2006)

7 SIMULAÇÃO AO FOGO - NBR 15200 (ABNT,1912)

Sendo que a área total do protótipo é de 27,18m² e com um pé direito médio h=2,80m observa-se na planta, que as paredes possuem duas placas com câmara de ar de 10cm entre elas Figura 51 e 52.

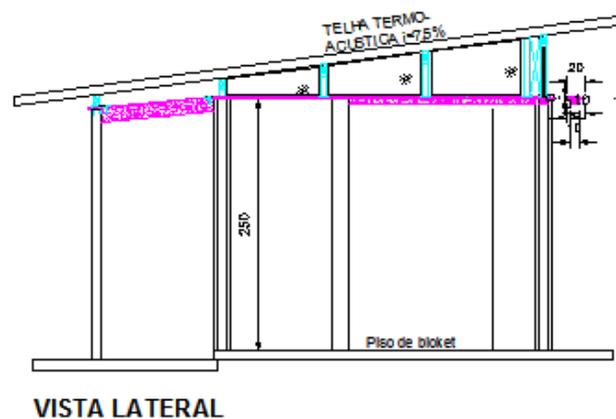
Figura 51: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada



Fonte: O autor

Na planta baixa percebe-se as paredes formadas com placas, na parte interior e parte exterior, observa-se também entre as placas uma câmara de ar por onde é passada as instalações elétricas e hidráulicos. O sistema se beneficia também na parte que se refere à resistência térmica e conforto acústico.

Figura 52: Parede dupla com placas de concreto e câmara de ar não ventilada



Fonte: O autor

Analisando numericamente PCI (2006) através da equação 34, encontra-se o tempo de resistência (R), das paredes de concreto com o seguinte resultado:

$$R = (0,8_1^{0,59} + 0,8_3^{0,59})^{1,7} = 2,6h \quad (\text{equação 34})$$

Analisando numericamente utilizando da ABNT NBR15200, encontraremos o tempo de resistência (R), das paredes de concreto com o seguinte resultado.

Valores retirados da ABNT NBR15200

$$\gamma_n = \gamma_{n1} * \gamma_{n2} * \gamma_{n3} = 1$$

$$\gamma_s = \gamma_{s1} * \gamma_{s2} = 1,02$$

$$\gamma_{s1} = 1 + \frac{A_f * (h + 3)}{100000} = 1,2 ;$$

A_f : área total do piso do compartimento [m²];

h: a altura do mais elevado piso habitável da edificação em metro, considerando que γ_{s1} não deve ser inferior a 1 e não precisa ser superior a 3.

$$\gamma_{s2} = 0,85$$

$$K = 0,07 \text{ min} * m^2 / MJ$$

$$H = \text{Altura do compartimento} = 2,80m$$

$$M = 1,0 \text{ p / concreto}$$

$$AV = \text{Área de ventilação vertical, janelas e portas} = 3,18m^2$$

$$Af = \text{Área do piso do compartimento} = 16,30m^2$$

$$W = \left(\frac{6}{H}\right)^{0,3} * \left[0,62 + 90 * \left(0,4 - \frac{A_v}{A_f}\right)^4\right] \geq 0,5$$

$$W = \left(\frac{6}{2,80}\right)^{0,3} * \left[0,62 + 90 * \left(0,4 - \frac{1,50}{16,30}\right)^4\right] = 1,79 \geq 0,5$$

$$t_e = q_{fi} * \gamma_n * \gamma_s * K * W * M$$

$$t_e = 300 * 1 * 1,02 * 0,07 * 1,79 * 1,0 = 38,34x2 = 76,7 \text{ min utos ;}$$

Considerando duas placas de concreto sem considerar câmara de ar entre elas. Os seguintes valores:

Utilizando método do PCI, encontramos 2,6horas de resistência ao fogo.

Utilizando a ABNT NBR 15200, encontramos 1,28minutos.

8 OBTENÇÃO DOS RECURSOS PARA VIABILIZAR O PROJETO

Os resultados dos ensaios são tabulados, comparados e interpretados dentro das recomendações prescritas pela norma Brasileira de desempenho ABNT NBR 15575.

Os recursos são provenientes da FINEP, Projeto CANTECHIS, pertencente ao subprojeto SPIPC, e UFSCar do departamento de Engenharia Civil, no Programa de Pós-graduação (PPGECIV). Os recursos são canalizados pela FINEP a FAI, que administra e fiscaliza a aplicação das verbas.

9 CAPACIDADE RESISTENTE DOS COMPONENTES DO MODELO

De acordo com a ABNT NBR 6118, item 13.2.3, define área mínima de uma pilar = 360cm^2 , neste trabalho denominado como sendo montante e com área de seção menor que consta em norma, as peças foram ensaiadas e verificadas, Figura 51, no entanto a ABNT NBR 9062 Item 5.2.6, permitida a constatação experimental da capacidade portantes, mediante ensaios conclusivos dos elementos classificados como pré-fabricados e podem ser ensaiados e usados. Nos ensaios realizados foram atendido as prescrições e com coeficiente de segurança acima, $\gamma > 2$. Os ensaios de compressão centrada dos montantes foram utilizado equipamentos e laboratório do NETPRE.

9.1 ENSAIOS DE COMPRESSÃO CENTRADA

Foram realizados ensaios de compressão centrada em montantes para

aferir a capacidade resistente dos mesmos. A carga prevista no montante de concreto após feito levantamento das cargas existentes no protótipo temos: A dimensões do montante: (10x10)x320cm.

Tabela 15: Levantamento das cargas existentes no montante mais desfavorável

Peso próprio do pilar: (0,10X0,10X3,20)x2400=	0,80kN
Peso próprio das placas: 0,025x0,5x1,0x2400x12=	3,60kN
Cobertura metálica: 21,92kg/m ² /27,18=596,9/32=	0,19kN
Telha termoacústica: 6,0kgf/m ² x28m ² =168/32=	0,06kN
Σ, cargas verticais:=	4,65kN

Fonte: O autor

Carga máxima no montante majorada.

$A_s = 0,15\text{cm}^2$, armadura mínima.

Adotado; $A_s = 1,27\text{cm}^2 = 4\phi 6,3\text{mm}$.

Cálculo da armadura transversal: $\phi 4,2\text{mm}$ espessamento: 12cm

Cálculo da excentricidade máxima do montante para que resista uma tração no concreto de no máximo.

Área = $10 \times 10 = 100\text{cm}^2$

$JLN = (10 \times 10^3) / 12 = 834,0\text{cm}^4$

Cálculo da excentricidade máxima do carregamento

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{N \cdot e}{J} \cdot y \quad (\text{equação 35})$$

$e = 17,0\text{cm}$

Cálculo da tensão extrema:

$\sigma = 10,5\text{MPa}$

Cálculo da carga crítica de flambagem do montante:

fck=20MPa

$$E = 213000 \text{ kg/cm}^2$$

Pcc= Peso crítico calculado (carga crítica de flambagem)

E = Módulo de elasticidade longitudinal (Módulo de YOUNG)

J_{min} = Momento de Inércia mínimo da seção transversal

ℓ_f = comprimento de flambagem

$$P_{cc} = \frac{(\pi^2 * E * J_{\text{minimo}})}{\ell_f^2} = 171 \text{ kN}$$

Após a realização dos ensaios das placas, foram realizados ensaios para avaliar a capacidade dos montantes de concreto. Nesse caso, foi empregado um atuador hidráulico de 100 toneladas para a aplicação da força e uma célula de carga para a leitura de força em kN, ligada a um sistema de aquisição de dados para garantir o registro das leituras. Foram ensaiados três montantes com a aplicação de força centrada até a sua ruptura, como pode ser observado na Figura 53.

Figura 53: Ensaio compressão axial dos montantes



Fonte: O autor

Utilizando os equipamentos e laboratório, prensa hidráulica de 100ton.

do NETPRE foram ensaiadas as peças de concreto, como montantes, placas de concreto. Figura 54. Os pilares se romperam devido à flambagem, resistindo a força axial esperada.

Figura 54: Ensaio de compressão axial do montante, pré-moldado.



a)

b)



c).

Fonte: O autor

Os montantes foram ensaiados como mostra a figura 54, apurados utilizando prumo de parede, sobre o topo do pilar foi posto uma placa em

compensado par distribuição das tensões sobre o montante. A figura 51 mostra os resultados de força de ruptura dos montantes.

Tabela 16: Resultados dos Ensaios de compressão axial

Montante Ensaiado	$P_{u,exp}$ (kN)
Protótipo 01	131,12
Protótipo 02	164,21
Protótipo 03	195,71
Média	163,68

Fonte: O autor

De acordo com os valores obtidos, a média da força de ruptura para os montantes foi de 163,68kN, comparando com os cálculos deveria ter resistido no mínimo $N=171,0\text{kN}$, os ensaios de compressão do concreto tiveram sua resistência característica variaram de 9,0MPa a no máximo a 12MPa. O concreto solicitado à empresa fabricante das peças de concreto, foi de 20 MPa. Em visita à empresa que executou o serviços, foram encontradas várias irregularidades: trabalhabilidade do concreto era dada aumentando a quantidade de água, com isso “slump test” aumentava seu índice no entanto diminuía assim a resistência característica do concreto, confirmado quando rompido os corpos de prova, a baixa resistência do concreto.

9.2 ENSAIO - A FLEXÃO DA PLACA DE CONCRETO DA PAREDE

Foram realizados ensaios destrutivos para avaliar a máxima capacidade dos elementos estruturais empregados no protótipo a ser construído na UFSCar (Figura a). Tais elementos estruturais corresponderam a placas pré-moldadas com de dimensões 100 x 50 x 2,5 cm e montantes pré-moldados de dimensões de 10cm x 10cm x 220cm. Inicialmente foram avaliadas as placas pré-moldadas por meio de ensaios de flexão.

Realizou-se o ensaio de quatro pontos, com a aplicação de força em

duas regiões distribuídas ao longo da largura da peça, como pode ser observado no esquema de ensaio ilustrado na Figuras 55 e 56. O ensaio foi realizado com a aplicação de força por meio de blocos estruturais de concreto previamente pesado. Com o registro prévio do peso de cada bloco foi possível o carregamento da placa até sua ruptura. Dessa forma, realizados, quatro ensaios.

A carga máxima prevista na placa 1,20kN, momento correspondente de 0,4kN.m, considerando 31 diâmetros de armadura de tela CA11, no sentido longitudinal da placa, sendo que cada diâmetro corresponde a $d=0,50\text{mm}$, sendo que cada fio possui uma área de $A=0,05\text{cm}^2$ somando a área total $A_s=1,7\text{cm}^2$, a espessura da placa $e=2,5\text{cm}$, largura de 50cm e comprimento de 100cm, $f_{ck}=18\text{MPa}$;

Dados:

$KMD=0,29987505$

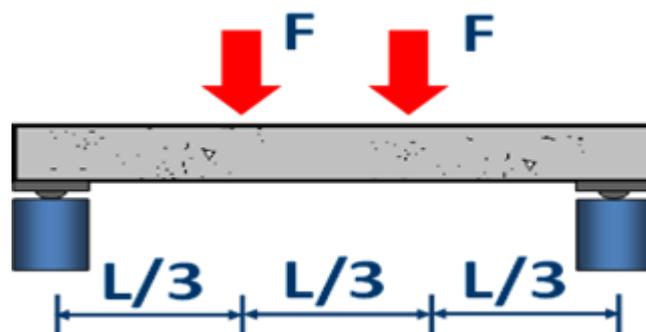
$KX=0,5718$

$Kz=0,7713$

Valor de $x=1,539388589$

$A_s=1,7\text{cm}^2$

Figura 55: Esquema de ensaio de flexão em placa pré-moldada



Fonte: O autor

Foram utilizados blocos de concreto pesando em média 12,5kg/peça, a placa era apoiada e distribuída a carga em 1/3 de seu comprimento como mostra a Figura 57. Os blocos eram colocados sobre a placa a cada 5 segundos, até a

placa vir a se romper. As cargas foram adicionadas gradativamente com o uso de um macaco hidráulico, até que a peça veio a se romper por carregamento crítico vindo a flambar.

Com os ensaios pode-se concluir que as placas pré-moldadas suportaram um momento no meio do vão máximo de 0,41 kN.m, referente à aplicação de uma força de 1,66 kN dividida em dois pontos.

Figura 56: Esquema de montagem das placas a serem ensaiadas



Fonte: O autor

Colocadas duas peças de madeira (sarrafos), dividindo os carregamentos em 1/3 do vão da placa. Uma chapa em madeira compensada com 18mm de espessura para receber os blocos em concreto, gradativamente. Os blocos foram pesados individualmente e marcando o peso de cada um deles, esses blocos foram colocados um a um com intervalo de tempo de 30 segundos entre um e o outro, até a peça se romper. Como mostra a figura 58:

Figura 57: Ensaio de flexão em placa pré-moldado



Fonte: O autor

Os resultados dos ensaios de compressão centrada dos montantes ver tabela 15, de flexão das placas pré-moldadas ver Tabela 16.

Tabela 17: Resultados dos Ensaios de flexão nas placas pré-moldadas

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

$P_{u,exp}$: capacidade de ensaio; no meio do

Máxima obtida por meio $M_{vão}$: momento vão.

Fonte: O autor

Neste trabalho é proposto um sistema construtivo pré-moldado para ser empregado em instalações provisórias de canteiro de obras. Para esse sistema pode ser atribuído o conceito de racionalização e construção limpa e enxuta, uma vez que possui características como rapidez na montagem, eliminação dos resíduos e sem o uso da água, possibilidade de reaproveitamento dos elementos em outro canteiro. Além de estudos teóricos, análises experimentais ainda estão sendo realizadas para a completa caracterização e avaliação de desempenho do sistema construtivo proposto.

A carga na flexão da placa esperada era em torno de 15kN, as placas resistiram acima do esperado conforme tabela 15.

9.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS SVVIE ÀS SOLICITAÇÕES DE PEÇAS SUSPENSAS - ENSAIOS DE CARGA SUSPENSA

Os ensaios consistem em submeter Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) a esforço de momento fletor e de força cortante, por meio de aparelhagem ou dispositivos de carga compatível com a peça que se pretende ensaiar.

Aparelhagem e equipamentos de laboratório

Os equipamentos de laboratório necessários à realização dos ensaios são os seguintes:

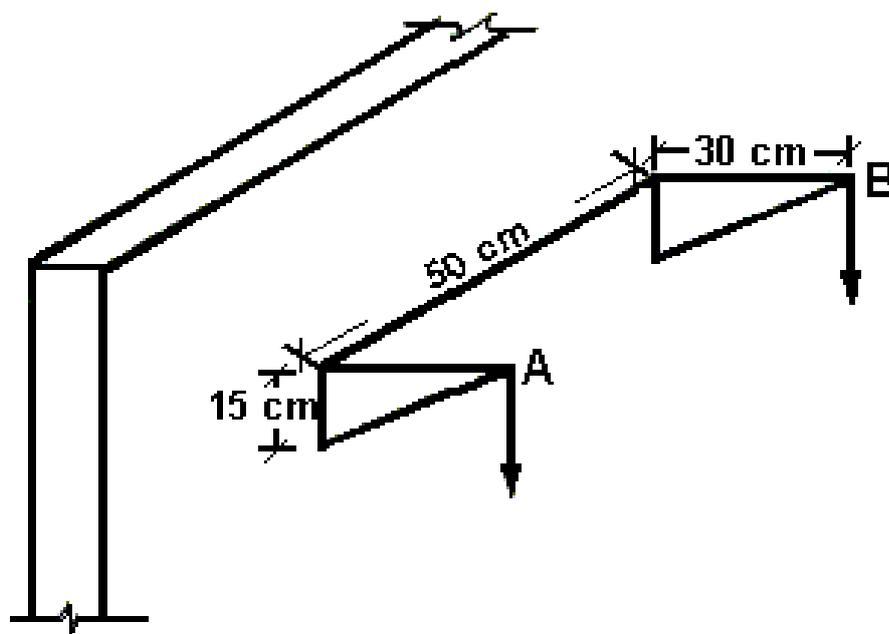
- Número suficiente de pesos de 50N cada, substituído por blocos de concreto de 13,50kg.
- Régua graduada com resolução de 1,0mm
- Régua metálica indeformável

- d) Paquímetro ou qualquer dispositivo com resolução de 1mm para medir os deslocamentos.

A mão-francesa padronizada no caso de peças suspensas, como armários e prateleiras, empregar mãos-francesas para aplicação do carregamento, como ilustrado na Figura 58 e 59, salvo indicação em contrário do fabricante.

As informações relativas ao detalhamento da mão francesa padrão, a massa máxima do conjunto e as dimensões das pastilhas de apoio são apresentadas na ABNT NBR 11678 – Divisórias leves internas moduladas – verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas – método de ensaio.

Figura 58: Esquema de mão-francesa



Fonte: ABNT NBR 15575

Suporte que foi fixado na parede formada com a placa de concreto, para ser feito o ensaio de carga suspensa indicado pela NBR15575.

Figura 59: Carga suspensa na parede 1,20kN período de 24h



Fonte: O autor

O ensaio foi realizado com os dispositivos em laboratório reproduzindo as situações previstas na NBR15575. Aplicada a carga em patamares de aproximadamente de 50N e sem golpes, aguardando intervalo aproximado de 3 minutos entre patamares de carregamento, e atendendo ao estabelecido a seguir.

De início o suporte foi carregado com 1,0kN permaneceu por 24h, com deslocamento da placa $d_h=1,0\text{mm}$ foi ampliada o carregamento para 1,2kN e permanecendo por mais 24h o deslocamento permaneceu em 1,50mm, a carga ficou exposta por vários dias.

Resultados:

- a) Devido à dificuldade de aumentar a carga, essa permaneceu com 1,20kN por vários dias e mesmo assim não se rompeu.
- b) Deslocamento horizontal $d_h=1,5\text{mm}$ na ligação parafuso coma bucha de PVC.
- c) Não houve movimentação do sistema além do deslocamento verificado por relógio de deslocamento.
- d) Não houve fissuras nem movimentações
- e) O sistema de fixação obedeceu rigorosamente a NBR 15575
- f) Desenhos do suporte conforme Figura 52.
- g) Não teve restrições do fabricante do suporte.

- h) O suporte é equipamento de uso dos ensaios e de propriedade do NETPRE.
- i) Uma parede composta por duas placas internamente e externamente, no ensaio foi montada apenas uma placa simulando a parede interna e instalados aparelhos de medir deslocamento horizontal. Na parede foi instalado o suporte em uma face da placa e parafusada com parafuso $d=8\text{mm}$ e de comprimento de 6cm, e bucha de PVC.
- j) O ensaio seguiu as diretrizes da NBR15575, parte 4.

A Tabela 17 informa os valores recomendáveis para as cargas de ensaio a serem aplicadas em função do nível de desempenho no caso da verificação da resistência dos SVVIE a ação de cargas devidas a peças suspensas fixadas por mão-francesa padrão.

Tabela 18: Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas

Carga de ensaio aplicada em cada ponto kN	Carga de ensaio aplicada na peça kN	Critério de desempenho	Nível de desempenho
0,4	0,8	Ocorrência de fissuras toleráveis. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2\ 500$	<i>M</i>
0,5	1,0	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2\ 500$	<i>I</i>
0,6 kN	1,2 kN	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2\ 500$	<i>S</i>
Onde: h é altura do elemento parede; d_h é o deslocamento horizontal; d_{hr} é o deslocamento residual.			

Fonte: ABNT NBR15575

Sendo que $h=2800\text{mm}$, pé-direito, $dh=1,5\text{mm}$, comparando com a tabela temos: $dh < h/500$; $1,5 < 2800/500=5,4\text{mm}$, atendeu perfeitamente a NBR15575.

9.3.1 DESEMPENHO TÉRMICO

Foi simulado desempenho térmico. Ver, Item 5.1

10 ENSAIO - ESTANQUEIDADE SVVE

Diretrizes: consiste em submeter, durante um tempo determinado, a face externa de um corpo de prova do Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVE) a uma vazão de água, criando uma película homogênea e contínua com aplicação simultânea de uma pressão pneumática sobre essa face Figura 60.

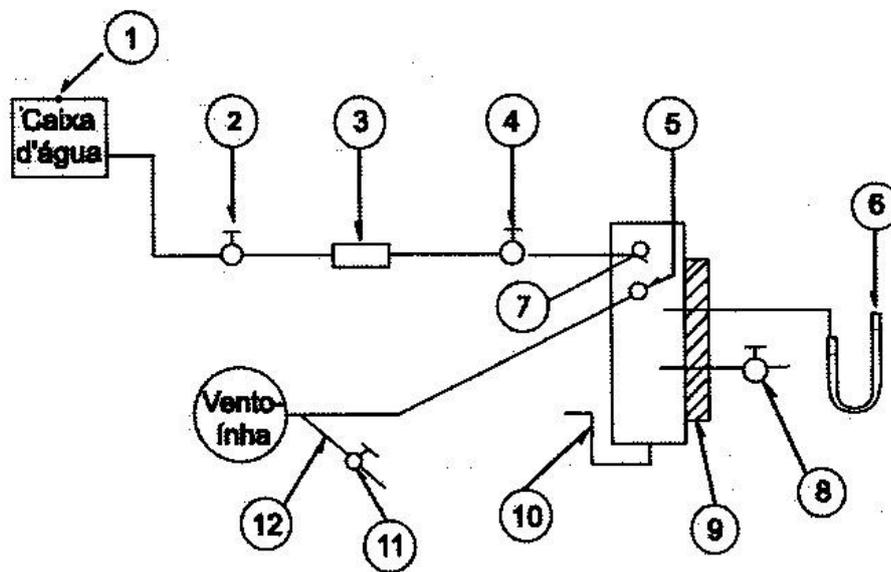
O corpo de prova é constituído pela parede, com ou sem pintura, aqui utilizado em duas placas, uma pintada e outra não pintada conforme Figura 54 equipamento usado do laboratório NETPRE e dentro dos padrões exigidos pela norma.

Aparelhagem conforme esquema abaixo:

- a) Câmara de formato prismático, de dimensões compatíveis com corpo de prova, estanque e provida de:
 - abertura em uma das faces para fixação do corpo de prova;
 - orifício da saída de água na base, com um sifão que possibilite a formação de um fecho hídrico no interior da câmara;
 - orifício para ligação da alimentação de água, do sistema de aplicação de pressão, do manômetro e para saída de ar.
- b) Sistema constituído de um compressor pneumático possibilitando a regulagem e aplicação de pressão uniforme de até 50P no interior da câmara durante o ensaio. Nota: o ar foi introduzido no interior da câmara por uma de suas faces laterais, a fim de impedir a incidência direta do ar sobre o corpo de prova.
- b) Equipamento para medição de pressão, instalado de maneira que a medição não seja afetada pela velocidade do ar e tenha resolução de 0,5Pa.
- c) Sistema constituído de reservatório de água, tubulações, registros e tubo com dispersores de água, que deve permitir a aplicação de vazão

- constante e igual a $3,0 \text{ dm}^3/\text{min}$ junto à parede superior da face externa, criando uma película homogênea e contínua;
- d) Medidores de vazão que permitam seu controle durante o ensaio, tais como tubos venturi, rotômetros e outros, com resolução igual a 1% do fundo de escala;
- e) Grampos para fixação do corpo-de-prova em número não inferior a seis para fixação do corpo-de-prova às bordas da abertura da câmara.

Figura 60: Esquema de dispositivos para medida de vazão



Fonte: O autor

Esquema de montagem do ensaio de estanqueidade, o ensaio foi realizado no NETPRE.

Legenda:

1. Boia sensível (para manutenção do nível de água)
2. Registro de gaveta
3. Equipamento para medida de vazão
4. Registro globo para ajuste da vazão
5. Tubo injetor de ar DN 50 (faz a aspersão da água e pressuriza a câmara)
6. Manômetro diferencial para controle da pressão dentro da câmara

7. Tubo dispersor de água
8. Registro de gaveta (ajuste fino da pressão de ar dentro da câmara)
9. Corpo-de-prova
10. Saída de água (sifonada)
11. Registro de gaveta (ajuste de pressão)
12. Sangradouro

O corpo de prova constituído pela parede, formada por placa externa de concreto com espessura de 2,50cm, ocupando duas placas, das quais uma pintada e a outra sem pintura. A parede encontrava-se verticalmente no prumo dentro dos padrões exigidos pela norma. Figura 61.

Figura 61: Esquema de montagem do corpo-de-prova para ensaio



Fonte: O autor

Na figura 62 pode-se observar a câmara de ensaio espargindo água no seu interior, está acoplado um volume de água de 3dm³/min juntamente com pressão de ar de 50Pa, o tempo de ensaio foi de 7h como previsto na norma. A montagem seguiu o esquema da Figura 62.

Figura 62: Garantindo a vazão de 3dm³/min e pressão de 50Pa



Fonte: O autor

A duração do ensaio foi de 7,0h, em seguida foi fechado o registro de entrada de água e a aspersão foi interrompida e desligada a pressão pneumática. A parede é constituída de uma placa de concreto de 2,5cm de espessura, não possui chapisco nem reboco, o equipamento foi instalado sobre duas placas, uma pintada com tinta látex comum e outra sem pintura.

Figura 63: Resultado do ensaio (manchas de água na face oposta da placa)



Fonte: O autor

O ensaio foi realizado em fevereiro de 2014, no interior do laboratório NETPRE e seguindo rigorosamente o que preconiza a NBR15575, parte 4.

10.1 ENSAIO DE CORPO DURO

A norma estabelece um método para verificação da resistência dos Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas (SVVIE) à indentação provocada pelo impacto de corpo duro. Consiste na liberação pendural, em repouso de massa conhecida a uma altura determinada.

A aparelhagem consiste em:

- a) Um corpo percursos de impacto com forma e massa (m) estabelecidas na Tabela 18
- b) Dispositivo para medição dos deslocamentos com resolução de 0,1mm

Tabela 19: Massa do corpo precursor de impacto, altura e energia de impacto.

Corpo percissor de impacto	m	h	E
	kg	m	J
Corpo duro de grandes dimensões (esfera de aço) – 10 impactos para cada energia	1	1,00	10
	1	2,00	20
Corpo duro de pequenas dimensões (esfera de aço) – 10 impactos para cada energia	0,5	0,50	2,5
	0,5	0,75	3,75

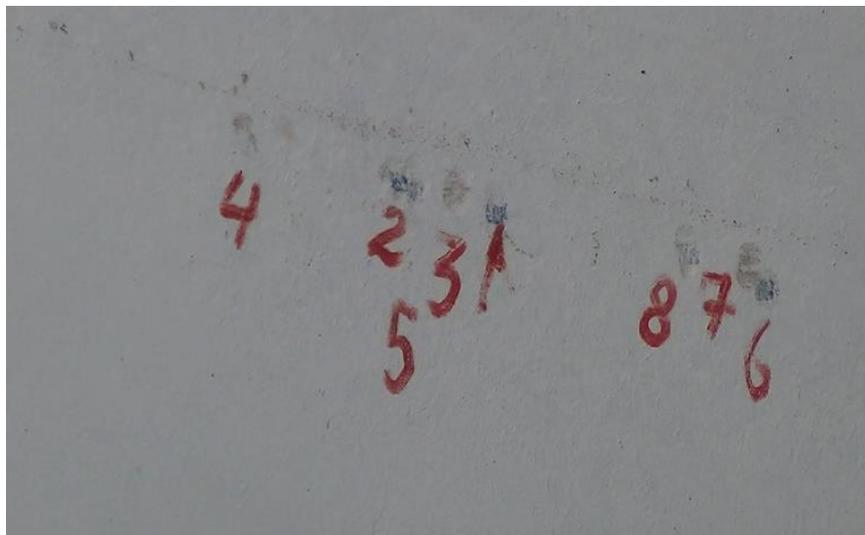
Fonte: ABNT NBR 15575

O corpo de prova foi representa fielmente as condições do projeto, tipos de apoios e vinculações. O ensaio foi realizado no interior do NETPRE, utilizando uma parede em tamanho real da obra.

Execução do ensaio é suspender por um cabo o impactador, liberando- o em movimento pendural, gerando a energia de impacto indicado na tabela 18. Os impactos foram aplicados em pontos aleatórios distintos, ou seja, cada impacto

foi aplicado em pontos diferentes, sem haver repiques Figura 64.

Figura 64: Local nas placas dos impactos de corpo duro



Fonte: O autor

Legenda:

Tabela 20: Representação e resultados dos impactos realizados sobre a placa

N° do impacto todos os lançamentos foram na altura de h=1,0m										
2- Deslocamento horizontal medido no lado oposto da placa [mm]										
3- Afundamento na parede da placa de concreto [mm]										
4- Diâmetro do afundamento na placa [mm]										
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	1,33	1,34	1,33	1,33	1,34	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
4	1,1	1,0	1,11	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0

Fonte: O autor

- a) Valor dos impactos;
- b) Massa do corpo 1,0kg;
- c) Registro de todas as falhas, Tabela.18, sem resíduos de deslocamento;
- d) Foram utilizados equipamentos do NETPRE, a massa (esfera de 1,0kg) foi fabricada no interior da Universidade UFSCar (DEMa);

- e) A parede em concreto armado na espessura de 2,50cm;
 f) Foi executado obedecendo a requisitos da NBR 15575.

As Tabelas 20 e 21 informam o desempenho recomendável dos SVVIE quanto à resistência ao impacto de corpo duro para os níveis intermediário e superior.

Tabela 21: Impactos de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas)

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo duro J	Critério de desempenho	Nível de desempenho
Vedação vertical com ou sem função	Impacto externo (acesso)	3,75	Não ocorrência de falhas, inclusive no revestimento	M
		20	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	
estrutural; parapeito ^a	externo do público)	3,75	Não ocorrência de falhas Profundidade da mocha $p \leq 2,0$ mm	I
		20	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	
	Impacto interno (todos os pavimentos)	2,5	Não ocorrência de falhas	M
		10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	
		2,5	Não ocorrência de falhas Profundidade da mocha $p \leq 2,0$ mm	I
		10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	

^a Para parapeitos recomenda-se somente os impactos de corpo-duro de grandes dimensões ($E = 20$ J para parapeito externo e $E = 10$ J para parapeito interno).

Fonte: NBR ABNT 15575

Tabela 22: Impactos de corpo duro para vedações verticais internas

Sistema	Energia de impacto de corpo duro J	Critério de desempenho	Nível de desempenho
Vedação vertical com ou sem função estrutural	2,5	Não ocorrência de falhas	M
	10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	
	2,5	Não ocorrência de falhas Profundidade da mocha $p \leq 2,0$ mm	I; S
	10	Não ocorrência de ruptura e traspassamento	

Fonte: NBR ABNT 15575

Considerando que as placas de concreto são iguais interna e externamente, os resultados podem ser considerados os mesmos. Com a energia

de 10J, não houve rupturas além das marcas conforme figura 57, com isso atende a NBR15575 perfeitamente, nível M, (mínimo de aceitação). Ensaio da placa com 20J houve aparecimento de fissura na placa e o ensaio foi finalizado.

10.2 ENSAIO DE CORPO MOLE NOS SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS – PARA CASAS TÉRREAS – COM OU SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL

Resistir aos impactos de corpo mole.

NOTA 1- Este requisito se traduz pela resistência dos SVVIE à energia de impacto dos choques acidentais gerados pela própria utilização da edificação ou choques provocados por tentativas de intrusões intencionais ou não. Os impactos com maiores energias referem-se ao estado-limite último. Como as placas são iguais interna e externamente os ensaios podem servir para ambos. O ensaio foi realizado em uma face da placa.

Critério – Resistência a impactos de corpo mole sob ação de impactos de corpo mole, os SVVIE para as casas térreas não devem:

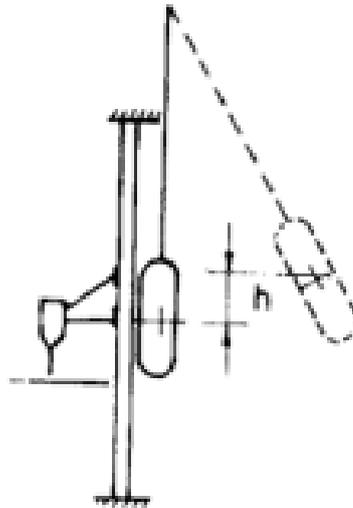
- a) sofrer ruptura ou instabilidade (impactos de segurança) que caracterize o estado limite último, para as correspondentes energias de impacto indicadas nas Tabelas 21.
- b) sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de falha (impactos de utilização) que possa comprometer o estado de utilização, observando-se ainda os limites de deslocamentos instantâneos e residuais (d_h é o deslocamento horizontal instantâneo, d_{hr} é o deslocamento horizontal residual, h é a altura da parede), indicados nas Tabelas 21.
- c) provocar danos a componentes, instalações ou aos acabamentos acoplados ao SVVIE, de acordo com as energias de impacto indicadas nas Tabelas 22.

Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, sem função estrutural Figura 65.

Figura 65: Preenchimento do saco com areia e serragem peso de 40kg

Fonte: O autor

Consiste num saco de couro com altura de 90 cm e diâmetro de 35 cm, contendo areia e serragem, totalizando uma massa de 40 kg, permitindo uma variação de 40 gramas para cima ou para baixo, sistema de pêndulo constituído de: suporte (altura superior a da parede) fio de aço para sustentar a esfera e sistema para medição dos resultados, locado na parede na face oposta do impacto Figura 66.

Figura 66: Ilustração - Equipamentos de ensaio

Fonte: O autor

Tabela 23: Massa de corpo mole, altura e energia do impacto

Impacto	M kg	h m	E J
Aplicar impacto de corpo mole, de acordo com a ABNT NBR 11675, para cada energia	40	0,30	120
	40	0,45	180
	40	0,60	240
	40	0,90	360
	40	1,20	480
	40	1,80	720
	40	2,40	960

Fonte: ABNT NBR15575

Tabela 24: Impactos de corpo mole (fachadas) sem função estrutural

Elemento	Impactos	Energia de impacto de corpo mole J	Critérios de desempenho	Nível de desempenho
Vedações verticais sem função	Impactos externos (acesso externo	720	Não ocorrência de ruptura	I
		480		
		360	Não ocorrência de falhas	
estrutural	do público)	240	Não ocorrência de falhas $d_h \leq h/125$ $d_{tr} \leq h/625$	
		180	Não ocorrência de falhas	
		120		
		480	Não ocorrência de ruína	
		360		
	Impactos internos	240	Não ocorrência de falhas Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/125$ $d_{tr} \leq h/625$	M
		180	Não ocorrência de falhas	
		120		
		360	Não ocorrência de ruína e traspasse da parede pelo corpo impactador	
		180		
120	Não ocorrência de falhas Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/125$ $d_{tr} \leq h/625$	M		
Vedações verticais externas, sem função estrutural, constituídas por elementos leves ($G < 60 \text{ kg/m}^2$)	Impactos externos (acesso externo ao público)	360	Não ocorrência de ruptura ou traspasse da parede pelo corpo percussor de impacto	M
		180		
		120	Não ocorrência de falhas Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h / 62,5$ $d_{tr} \leq h / 312,5$	
Revestimento das vedações verticais internas não estruturais aplicadas nas fachadas multicamadas ^a		60	Não ocorrência de falhas	M
		120	Não ocorrência de rupturas localizadas Não comprometimento à segurança e à estanqueidade	

^a O revestimento interno da parede de fachada multicamada não deve ser integrante da estrutura da parede, nem considerado componente de contraventamento, desde que não haja comprometimento à segurança e à estanqueidade, bem como os materiais de revestimento empregados sejam de fácil reposição pelo usuário. No caso de impacto entre montantes, ou seja, entre componentes da estrutura, o componente de vedação deve ser considerado sem função estrutural.

Fonte: ABNT NBR15575

Posicionado o saco de areia com serragem de madeira no peso de 40kg, e marcado a altura de h=30 cm Figura 67.

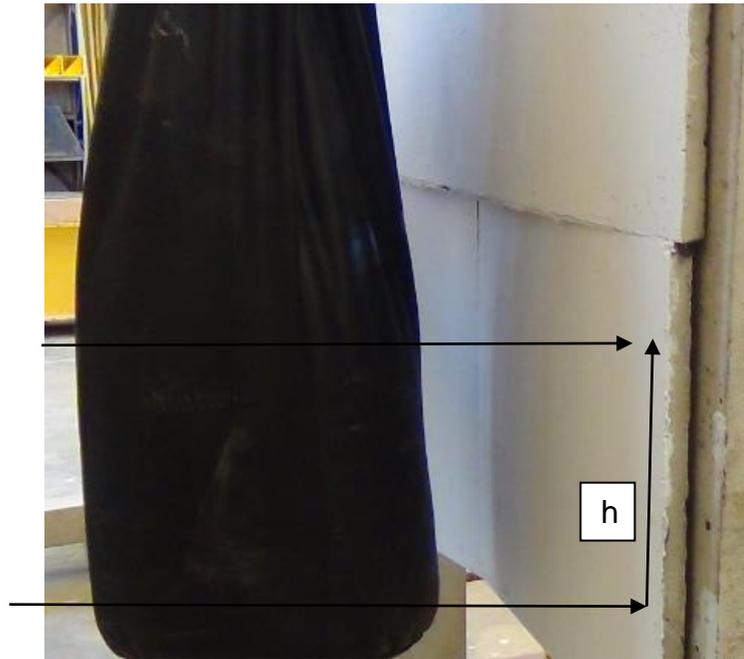
Figura 67: Suspenso o saco de 40kg a uma altura $h=30\text{cm}$



Fonte: O autor

Na de $h=30\text{cm}$ a placa resistiu atendendo a ABNT NBR 15575. Posicionado o saco de arei na altura de $h=40\text{cm}$ executado o ensaio a placa veio a se romper Figura 68.

Figura 68: Ensaio realizado corpo mole $h=30\text{cm}$, energia de 120J



Fonte: O autor

Após o ensaio verificou-se que a placa se rompeu.

Figura 69: Ensaio realizado corpo mole



Fonte: O autor

Expressões dos resultados: Medições dos deslocamentos horizontais e verticais (d_h e d_v) e residuais (d_{hf} e d_{vr}), em milímetros, incluindo observações visuais das falhas, fissuras, deslocamentos e ruínas.

Relatório de ensaio deve conter no mínimo as seguintes informações:

- a) Identificação do solicitante, Projeto Cantechis FINEP;
- b) Identificação do fornecedor, O local dos ensaios e fornecimento dos equipamentos foi feito e utilizados do NETPRE;
- c) Identificação da amostra e de todos os corpos de prova, amostra foi tomado aleatoriamente do estoque de placas que serão utilizados para construção do protótipo;
- d) Desenho do ensaio de tipo de geometria - foi montado um painel real formado por montantes e placas de concreto conforme figura 61;
- e) Caracterização dos constituintes, ensaios para se saber se o protótipo atende o mínimo de desempenho para instalações provisórias, pelo que percebemos atendo também outras construções de um pavimento;
- f) As amostras foram tomadas e ensaiadas em fevereiro de 2014;
- g) Deslocamentos, no primeiro ensaio $h=30\text{cm}$ e uma energia de 120J, a placa absorveu o impacto e não houve deslocamento residual. No deslocamento no segundo ensaio considerando $h=45\text{cm}$ e uma energia aplicada de 180J, houve deslocamento horizontal fissurando a placa ao meio e o deslocamento horizontal e residual foi de 6,0cm;
- h) Análise visual, no primeiro ensaio visualmente a placa se comportou muito bem, no segundo ensaio a placa fissurou, mas não chegou a se romper conforme figura 62;
- i) Os ensaios foram feitos dentro dos quesitos da NBR15575, e NBR11675;
- j) Não houve eventos imprevistos durante o ensaio.

11 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As paredes em concreto atendem perfeitamente em qualquer região Bioclimática Brasileira, alterando apenas a espessura da placa interna de concreto. O concreto possui boa Inércia térmica, resistência ao fogo e as paredes sendo em concreto reduzem consideravelmente os ruídos, devido à sua densidade.

12 COMPARAÇÃO COM OS SISTEMAS ANALISADOS

A seguir são apresentados os sistemas com discussão do seu uso e desempenho:

Contêineres Metálicos: conclui-se que em função de sua modulação 3mx3m ou 3mx6m, não facilita uma disposição melhor quando não se tem uma situação em que o terreno não dispõe uma área em que o container possa ser usado.

O transporte depende de caminhão que tenha munc para poder carregar e descarregar no local da obra, pode-se reaproveitar o mesmo container em outro canteiro, sem gerar resíduos.

Seu conforto térmico-acústico deve ser feito isolamento para que se tenha um desempenho que atenda a ABNT NBR 15575, sendo que isto se torna oneroso. Não encontra-se ensaios além do acústico feito por MIAM (2013).

Fibra de vidro: conclui-se que existe possibilidade de modulação, e se adequando em função do espaço disponível no canteiro. Sua montagem depende de pessoas especializadas para manipular os componentes químicos.

Sua desmontagem e transporte e remontagem também dependem de pessoal especializado; as peças são frágeis mas podem ser remendadas quando necessário; geram pouco resíduo. O material e sua manipulação é oneroso. Não encontra-se ensaios realizados na bibliografia sobre o assunto.

Alvenaria cerâmica: conclui-se que existem possibilidades de modulação, e se adequando em função do espaço disponível no canteiro. Sua montagem depende da própria mão de obra existente na indústria da construção civil.

Difícilmente esse tipo de instalação provisória é desmontada e reaproveitada, devido a sua alta geração de resíduos. Não encontra-se ensaios realizados na bibliografia sobre Instalações de canteiro de obras.

Chapas de Madeirit: conclui-se que instalações provisórias de canteiro de obras utilizando chapas de madeirit existe possibilidades de modulação, e se adequando em função do espaço disponível no canteiro.

Sua montagem depende da própria mão de obra existente na indústria da construção civil. Difícilmente esse tipo de instalação provisória é desmontada e

reaproveitada, devido a sua alta geração de resíduos. Não encontramos ensaios realizados na bibliografia sobre Instalações de canteiro de obras.

Madeiras OSB: conclui-se que instalações provisórias de canteiro de obras utilizando OSB o material é de boa qualidade e resistente, existe possibilidades de modulação, se adequando em função do espaço disponível no canteiro.

Sua montagem depende da própria mão de obra existente na indústria da construção civil (carpintaria).

É possível montar, usar em instalações provisórias e desmontar para ser utilizado em outro canteiro e com baixa geração de resíduos.

Não encontram-se ensaios realizados na bibliografia sobre Instalações de canteiro de obras.

Sistema Proposto: diferentemente dos painéis sanduíche, e diferente dos demais sistemas.

O sistema proposto é composto por placas separadas por uma camada de ar, isolando a camada interna da externa.

Devido seu reduzido peso (30 kg em média), cada placa pré-moldada pode ser transportada e colocada na posição definitiva por uma pessoa, sem a necessidade de equipamentos mecânicos.

Além disso, são fixadas em montantes diretamente na obra por meio de buchas e parafusos sem a necessidade de conectores específicos.

As instalações podem ser facilmente localizadas entre as placas, juntamente com a montagem da estrutura.

Observa-se também, no caso da necessidade de manutenção, qualquer placa pode ser retirada e feita a manutenção, sem a necessidade de quebra, de paredes, esta placa pode ser recolocada após a manutenção, e poderá ser feita com facilidade.

Tabela 25: Comparação dos itens analisados

Sistemas Estudados	Container Metálico	Fibra de vidro	Alvenaria cerâmica	Chapas compensada	Madeira OSB	Sistema proposto	Obs.
Segurança	E	N.E.	E	N.E.	M	E	
Adaptabilidade	I	M	E	M	M	E	
Custos	E	E	E	M	E	M	
Durabilidade	C.T.A.	N.E.	E	I	E	E	
Resíduos	I	N.E.	N.E.	E	M.	M	
Acústica	C.T.A	N.E.	N.E.	I	E	E	
Seg/C/Incêndio	N.E.	N.E.	N.E.	I	N.E.	E	
Conforto/T.	C.T.A	N.E.	M	N.E.	E	E	
Estrutura	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	E	
Estanqueidade	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	E	
Corpo Mole	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	E	
Corpo duro	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	E	

Legenda:

Nível superior: E

Nível Mínimo: M

Nível insuficiente I

Nada Encontrado: N.E.

Com Tratamento Termo Acústico: C.T.A

A tabela 24 nos mostra as condições reais das instalações provisórias mais utilizadas no Brasil. Afirma-se que em nenhum momento as normas consultadas referem-se a instalações provisórias. Nos canteiros de obra onde funciona a indústria da construção civil, onde a pessoa humana se faz presente e em grande número, no entanto nessa indústria não há menção alguma na norma de desempenho.

Entende-se que além do que a NR 18 preconiza, ao contrário da Norma de desempenho, não faz menção alguma sobre instalações provisórias, entende-se como oportuna a observação em relação à legislação na ABNT NBR 15575, para que se elabore quesitos que atenda às necessidades observadas e que seja incluído na NBR15575 o que se preconiza às instalações habitacionais, aplicando-os com diferencial às obras de instalações provisórias de canteiro de obra.

13 CONCLUSÕES

A ABNT NBR 15575 estabelece um nível de desempenho mínimo para construção de edifícios, através da definição e requisitos mínimos obrigatórios para sistemas: estruturais, pisos, paredes e vedações, coberturas. Esta norma define critérios e métodos de avaliação de desempenho em obras habitacionais e industriais.

Por se tratar de um sistema construtivo diferente, instalações provisórias para canteiro de obras se realizarão diversos tipos de ensaios a fim de garantir o padrão mínimo estabelecido pela ABNT NBR 15575 e NR18 implicando diretamente nos parâmetros de construção, segurança, durabilidade, manutenção e conforto do trabalhador.

Mas essas Normas não contemplam obra desse tipo com relação ao desempenho estrutural, ensaios de corpo mole, ensaios de corpo duro e etc. Assim, seria necessária aplicação da NBR15575, às obras de instalações provisórias, com diferencial, pois são instalações provisórias, mas o ser humano vive parte de sua vida no interior desse ambiente.

Foram apresentadas várias alternativas quanto a instalações provisórias utilizadas para abrigar elementos de grande importância na obra bem como seus funcionários, sendo que cada uma das opções disponíveis apresenta diferentes desempenhos, portanto cada uma pode se adequar a condições e peculiaridades. Importante conhecer as vantagens e desvantagens de cada uma das alternativas e conhecer as características predominantes em cada canteiro de obra. Torna-se essencial no momento de tomar a decisão pela opção mais adequada.

De acordo com MORAES, (2009), a construção civil sustentável se apoia na ideia de que todas as atividades envolvidas, até mesmo na execução de grandes obras, não podem interferir negativamente nos ciclos de renovação da natureza e nem destruir esses recursos de forma a privar as próximas gerações de utilizá-los, ou seja, devem satisfazer as necessidades atuais preservando condições futuras. Para isto, o setor tem investido em soluções tecnológicas que promovem o uso eficiente, a economia e o reuso de matérias-primas e recursos, como água e eletricidade; a redução da emissão de gases estufa; e a melhoria do conforto

para os usuários.

No entanto, os impactos ambientais dos edifícios ultrapassam a fase de utilização, uma vez que também englobam a redução do consumo de energia e de recursos em todas as etapas do ciclo de vida, desde seu planejamento, passando pela construção, uso e renovação, até suas condições de fim da vida, fatores abordados anteriormente. Assim, a sustentabilidade visa minimizar os danos causados ao meio ambiente pelo processo construtivo, o que de acordo com Arslan (2007), pode ser conseguido através da aplicação dos seguintes princípios:

- ✓ Redução da demanda de energia e do consumo de materiais;
- ✓ Utilização de produtos reutilizáveis ou recicláveis;
- ✓ Prolongamento do tempo de vida dos componentes e do edifício como um todo;
- ✓ Retorno dos materiais para o ciclo natural, livre de qualquer risco de contaminação;
- ✓ Proteção integral de áreas naturais;
- ✓ E construir visando à economia de espaço.

O sistema que está sendo proposto tem suas peculiaridades como:

- a) O cuidado em controlar a produção das peças pré-fabricadas no que diz respeito dessas peças estarem milimetricamente em nível. Qualquer peça curada de forma irregular (torcida), não será possível essa peça ser utilizada;
- b) O sistema pode ser desenvolvido como qualquer outro projeto, no que diz respeito ao projeto arquitetônico, estrutural, hidráulico e elétrico;
- c) Na execução da obra, os cuidados com a base do montante devem ser apoiadas em elementos de fundação, ou coluna de brita mais areia facilita o nível dos montantes;
- d) Extremamente importante no nivelamento, alinhamento e bem aprumados, facilita a montagem. No caso de não se observar a obra terá que ser desmontada e reiniciada de forma correta. As demais etapas praticamente se repetem o que acontece nas obras convencionais;
- e) Os resíduos eventualmente gerados pelo sistema, são materiais inertes

compostos de concreto (cimento, areia e brita zero) que pode ser reaproveitadas nas placas voltando a ser reutilizadas.

Espera-se que este trabalho possa ser útil para todo aquele que estiver à procura de um sistema eficiente, econômico e durável.

13.1 PROPOSTAS PARA FUTUROS TRABALHOS

a) Entende-se que existem possibilidades de se usar resíduos da própria construção civil em visita a uma recicladora de resíduos foi observado que o material pode ser usado, pois existem materiais que simplesmente necessitam ser mais bem classificados passando por peneiras que definam a granulometria desses materiais. Esses materiais levado em laboratório e conhecendo essas propriedades e trabalhando com granulometrias definidas e ensaiadas é o suficiente para que esses materiais possam ser usados nas peças de concreto do protótipo.

b) Na possibilidade de se usar materiais mais leves para fabricação do concreto e aplicação nas placas e possivelmente nos montantes, confirmando sua resistência através de ensaios. Peças mais leves possibilitam um melhor manuseio e o conforto termo-acústico poderá ser ainda mais eficiente do que já se tem.

c) Como o sistema já foi usada em vários tipos de obras, visando cunho social, é possível que as autoridades aceitem essa opção para moradias de pessoas de baixa renda, sendo possível a auto construção simplesmente com um manual explicativo para montagem. A obra é de excelente acabamento e uma moradia de baixo custo. Poderia ser adquirido em lojas de materiais de construção onde a pessoa poderia adquirir a moradia e simplesmente montar com um técnico orientar a montagem.

d) Inclusão na de ensaios na norma de desempenho ABNT NBR 15575, ensaios diferenciados para instalações provisórias em canteiro de obras, entendemos que não há necessidade de todos os ensaios que preconiza a norma mas os de maior importância visando o bem estar das pessoas que lá passam seu período laboral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCIN, P.C. (1999). **Concretes of yesterday, today and tomorrow**. 41º Congresso Brasileiro do Concreto. Salvador.

ALMEIDA, I.R.(1996). **Superplastificantes, microssílica e durabilidade dos concretos**. Revista Técnica. V.5. p.30-33.

ALGECO. (2012). <http://www.algeco.fr/construction-modulaire/prefabrique-origin.html>. Acessado em 10/11/2012 e em 22 de janeiro de 2014.

ARAÚJO, N.M.C. de. (1998). **Custos da implantação do PCMAT (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção) em obras de edificações verticais: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

ARAÚJO, José de Jesus. **Avaliação do impacto provocado pelo ruído de tráfego em vias arteriais. 2006. 92f**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2006.

ABNT NBR 14313 (1999). Barreiras acústicas para vias de tráfego, Características construtivas. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 1367 (1991). Área de Vivência em Canteiros de Obra. Procedimento. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 12284 (A991). Área de Vivência em Canteiros de Obra. Procedimento. Rio de Janeiro.

ABNT NBR 15575 (2013). Edificações Habitacionais. Desempenho.

BEER, Johnston Ferdinando. **Resistência de Materiais**. 6 Edição (2004).

BERTINI, A.A. (1995). **Análise do Comportamento à Flexão de Painéis Sanduíche com Faces de Argamassa Armada e Núcleo de Espuma Rígida de Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

BIRBOJM, U.E.L. de Souza EPUSP (2002). **Boletim técnico da escola da USP**. 2002.

CAMPOS C. JOÃO, Canteiros de obras. NOTAS DE AULA, 2010, DISPONÍVEL EM (<ftp://ftp.unilins.edu.br/jccampos/>) acessado em 12 de novembro de 2013, às 15h).

CARDOSO FRANCISCO & FIORAM M.A. VIVIANE, 2009. **Canteiros de Obras Sustentáveis**. (<http://www.gerenciamento.ufba.br/Disciplinas/Suprimentos/Impactos%20canteiros%20de%20obras%20SindusCon%20PE%20+%20Bahia.pdf>. Acessado em 15 de novembro de 2013).

CARVALHO Roberto Chust. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. EduFSCar, 2007.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT - CSTB. **Acoustique, sciences du batiment**. Reef . Paris: CSTB, 1982. 296 p. v.2

Cleber Alves da Costa^{1,2}; Sérgio Luiz Garavelli²; Edwin F. F. Silva^{1,3}; Wesley Cândido de Melo^{1,3}; Armando de Mendonça Maroja⁴. **Barreiras acústicas como medida de mitigação dos ruídos gerados pelo tráfego rodoviário: Outubro 2013 DIAS C. Miranda**, Trabalho de Conclusão de curso Deciv. UFSCar, 2013.

DIAS, M. Christine (2013) Etapas do Ciclo de Vida de Construções Provisórias para Canteiros de Obras Tcc. UfSCar.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON. (2002). Bulletin 17. **Management, maintenance and strengthening of concrete structures**. Technical report.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON. (1998). Bulletin 241. **Quality Management** . (Printed revised hardbound edition of CEB Bull. 234). London.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON. (2012). **Guide to Good Practice: Precast Insulated Sandwich Panels fib - Commission 6 - Task Group TG6.11**.

FERREIRA, M. A. (2003). **A Evolução da Indústria da Construção Civil em Função do uso do Pré-Moldado**. Seminário.

FERREIRA, M. A. (2009). **Construção Civil em Função do uso do Pré-Moldado**. Seminário.

FRANCO, L.S., AGOPYAN, V. (1993). **Implementação da Racionalização Construtiva na fase de projeto**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – BT/PCC/94. Universidade de São Paulo. São Paulo.

GERGES, SAMIR N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. Florianópolis: UFSC, 1992. 600 p.

HELENE, P.R.L. (1999). **Concreto de alto desempenho: o melhor está por vir**. Revista Cimento Hoje. n.20.

HUTH, S. (1976). **Construir con Células Tridimensionales**. Barcelona:Ed. Gustavo Gilli, 1976.

KNONER, Nery. **Sistema de combate a incêndio com Halon 1301 em edifícios comerciais**. Universidade Federal de São Carlos, SP: Trabalho de Conclusão de Curso – Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, 1993.

LANÇA Pedro. **Acústica de edifícios**. Escola superior de tecnologia, (2006).

Marcelo Portela LVA/UFSC (s/data) **Conceitos para acústica arquitetônica**, <http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/389.pdf>, 2013. (Acessado em 23/11/2013)

MARTINS F. DAIANE. **Sustentabilidade no Canteiro de Obras**, Escola Politécnica. Rio de Janeiro, Setembro de 2010.

MATHEUS. **Acústica de edifício e controle de ruídos**. Notas de aula, (2008)

MELHADO, S.B. (1994). **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MÉNDEZ, A. M. et al. **Acústica arquitetônica**. Buenos Aires: UMSA, (1994)

MENEZES, G. S.; SERRA, S. M. B. (2003). **Análise das áreas de vivência em canteiros de obra**. III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO III SIBRAGEC. UFSCar, São Carlos, SP.

MIAN R. Fábio (2013). **Medição do Isolamento Acústico de Residências e Escritórios de Obra**. Conclusão de curso TCC (2013).

MORAIS A. T. PAULO, **Anais do 150 Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XV ENCITA / 2009**.

NORMA REGULAMENTADORA. (2012). **NR 18. Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção**.

NBR12179:1990, tratamento acústico em recintos fechados, (1990).

NBR 14432 – 2000 ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas Requisitos de resistência ao fogo dos elementos construtivos – procedimentos

OHAMA, Y. (1998). **Polymer-based admixtures**. Cement and Concrete Composites, n. 20, p. 189-212.

Oliveira, L.A.(2) Sabbatini, F.H.(3) **Contribuição Técnica a ser apresentada no “II Congresso Internacional da Construção Metálica – II CICOM”** - novembro, 2002 – São Paulo, SP, Brasil.

Oliveira, L.A. Sabbatini, F.H. **Resistência ao fogo de Fachadas em Paineis pré-fabricados arquitetônicos de concreto**. II Congresso Internacional da Construção Metálica – II CICOM”

PAULON, V.A. (1996). **Interface entre a pasta de cimento e agregado**. 37º Congresso Brasileiro do Concreto. Goiânia.

PICCHI, F. A., AGOPYAN, V. (1993). **Sistemas da Qualidade na Construção de Edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – BT/PCC 104. Universidade de São Paulo. São Paulo.

PUJOLLE, J. **La pratique de l’isolation acoustique des bâtiments**. Editions du Moniteur. Paris, 1978. 574 p.

REVEL, M. **La prefabricacion em la construccion** .1973.

RIBEIRO, P.K.P. (2006). **Gerenciamento do Ciclo de Aquisição de Materiais na Produção de Edifícios**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

SANCHIDRIAN, C. D. **Condiciones custicas en la edificación. Diseño y realidad**. In: I Congresso Ibero Americano de acústica, I Simpósio de Metrologia Normalização com Acústica e Vibrações do Merco Sul, 1 Encontro da Sobrac, 18., Anais. Florianópolis:SOBRAC, 1998. p. 83-92.

SANTOS, U.P et al. **Ruído riscos e prevenção**. 3. ed., São Paulo: Hucitec, 1999.

SAYED CLAUDIO. **Sistema de Gestão de projetos**, <http://engcivil2-el.blogspot.com.br/>, acessado em novembro 2013.

UNIEMP. (2005). http://home.uniemp.org.br/seminarios/iccb_seminario.html.

SILVA, D. T. da. **Estudo da isolação sonora em paredes e divisórias de diversas naturezas**.2000. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

ZHANG, M.H, GJORV, O.E. (2001). **Mechanical properties of highstrength lightweight concrete**. ACI Materials Journal, v. 88, n.3, p. 240-247, 1991.

<http://www.agisacontainers.com.br/>, Acessado em 21 de abril de 2014, às 15h.

http://www.aecweb.com.br/prod/e/canteiro-sustentavel_23599_24285 , Acessado em 21 de abril de 2014, às 15h.

http://forum.batera.com.br/forum_posts.asp?TID=48620, Acessado em 22 de Abril de 2014, às 19h.

<http://www.assenarts.com.br/?PAG=visualiza&texto=36&sessao=artigos>. Acessado em 06 de maio de 2014 às 11h.

<http://portal.ipt.pt/portal/portal/sas>, acessado em 28/04/2014, às 16h.