

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

CARLOS ALBERTO SIKORSKI JUNIOR
LEONARDO DA VEIGA GERONAZZO
LEONES RODRIGUES BETIM

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE
GESSO EM BLOCOS DE CONCRETO PARA MELHORIA DE
PROPRIEDADES TERMO-ACÚSTICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

CARLOS ALBERTO SIKORSKI JUNIOR
LEONARDO DA VEIGA GERONAZZO
LEONES RODRIGUES BETIM

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE
GESSO EM BLOCOS DE CONCRETO PARA MELHORIA DE
PROPRIEDADES TERMO-ACÚSTICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Graduação de Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof.Dr. André Nagalli

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

"O Engenheiro não vê o mundo, ele o muda."

Autor Desconhecido

RESUMO

Vem-se buscando melhorar a eficiência energética das construções procurando seguir as ideias do desenvolvimento sustentável. A construção civil é conhecida por ser forte geradora de impactos ambientais. Por isso, o setor é cada vez mais criticado devido aos desperdícios de matéria-prima. O gesso é um insumo que vem sendo altamente empregado na construção civil, chegando a ser considerado um dos materiais de construção mais consumidos no mundo graças a seu potencial em resistência, isolamento térmico e acústico, alta durabilidade, facilidade na montagem e baixo custo. Porém, é de difícil reutilização. Foram construídos protótipos em alvenaria, com blocos de vedação de concreto, com e sem a inserção de resíduos de gesso no interior dos furos dos blocos. A partir daí, foi possível comparar ambos os resultados, analisando as propriedades termo-acústicas de cada um e traçar uma relação das melhorias ou não destas propriedades. Os resultados obtidos apontam para uma melhoria no isolamento térmico e uma indiferença no isolamento acústico. Definiu-se como viável a utilização dos resíduos de gesso no melhoramento desejado.

Palavras – Chave: Sustentabilidade. Gesso. Reciclagem. Construção civil.

ABSTRACT

It has been looked for to improve the energy efficiency of buildings trying to follow the ideas of sustainable development. The construction industry is known as a strong generator of environmental impacts, so the sector is increasingly criticized because of the waste of raw materials. Gypsum is a material that has been highly used in construction, regarded as one of the most consumed construction materials in the world, thanks to its potential resistance, thermal and acoustic isolation, high durability, ease of installation and low cost. However, it is difficult to reuse it. We constructed prototypes with concrete blocks, one with and the other without the inclusion of gypsum waste inside the holes of the blocks. It was possible to compare both results, analyzing the thermal and the acoustic properties. The obtained results lead to an improvement of the thermal isolation and an indifference in the acoustic isolation. The conclusion achieved was that it's viable to extinguish the solid waste trying to reach the desirable improvement.

Keywords: Sustainability. Gypsum. Recycling. Construction. Environment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Elementos especiais da alvenaria de bloco de concreto.....	26
Figura 2 – Resíduos gerados durante a aplicação de gesso.	33
Figura 3 - Perda de material.....	33
Figura 4 - Fluxograma dos procedimentos realizados para o desenvolvimento do trabalho.	36
Figura 5 - Representação das dimensões de um bloco de concreto.....	38
Figura 6 - Resíduo de gesso na obra.	40
Figura 7 - Separação do resíduo em peneiras de 25mm.	41
Figura 8 - Moinho de bolas utilizado na moagem do resíduo.....	42
Figura 9 - Local de construção dos protótipos.....	46
Figura 10 - Croqui original do protótipo.	46
Figura 11 - Dimensões as built dos protótipos.	47
Figura 12 - Construção do protótipo contendo resíduo nos furos dos blocos. .	48
Figura 13 - Fechamento e isolamento superior dos protótipos.....	48
Figura 14 - Modelo de decibelímetro utilizado nas medições de ruídos.....	49
Figura 15 - Locação dos canais de leitura térmica.	51
Figura 16 - Instalações do software para medição nos protótipos.	52
Figura 17 - Detalhe dos canais para leitura das medições.....	53
Figura 18 - Medição da massa do resíduo de gesso dos furos dos blocos de concreto.	59
Figura 19 - Tampa de madeira para ajudar no isolamento acústico.....	63
Figura 20 - Betoneira utilizada na segunda medição de ruído.	63
Figura 21 - Posicionamento dos canais para medição;.....	65
Figura 22 - Realização dos ensaios.	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Proporção de resíduos sólidos em Curitiba.....	30
Gráfico 2 - Fonte de resíduos de gesso.....	34
Gráfico 3 - Peneiramento grosso.....	43
Gráfico 4 - Peneiramento fino - material moído.....	45
Gráfico 5 - Resultado da análise de compressão simples.....	57
Gráfico 6 - Resultado da medição do ensaio térmico - Protótipo com o enchimento de gesso.....	66
Gráfico 7 - Resultado da medição do ensaio térmico - Protótipo sem o enchimento de gesso.....	66
Gráfico 8 - Comparação dos resultados da medição térmica.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões das paredes dos blocos.....	27
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Desempenho e características funcionais.....	17
Quadro 2 - Nível de aceitação segundo a NBR 10152/1987.....	23
Quadro 3 - Nível critério de aceitação para ambientes externos segundo NBR 10151/2000.	23
Quadro 4 – Tamanho mínimo da amostra submetida à análise dimensional. ...	28
Quadro 5 - Peneiramento grosso - material "in natura"	43
Quadro 6 - Peneiramento fino - material moído.	44
Quadro 7 - Resultado da análise dimensional do primeiro bloco de concreto..	54
Quadro 8 - Resultado da análise dimensional do segundo bloco de concreto.	54
Quadro 9 - Resultado da análise dimensional do terceiro bloco de concreto...	54
Quadro 10 - Resultado da análise de aspecto visual.	55
Quadro 11 - Resultados da análise de absorção de água.	56
Quadro 12 - Resistência à compressão dos blocos de concreto.....	57
Quadro 13 - Massa de resíduo do interior dos blocos de concreto.	59
Quadro 14 - Média das medidas e do volume de um furo do bloco de concreto.	60
Quadro 15 - Resultado das leituras dos decibelímetros no lado interno dos protótipos.	62
Quadro 16 – Leitura de ruído (15 minutos) com betoneira ligada.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IDHEA	Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
NBR	Norma Brasileira
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RCC	Resíduos da construção civil
RCRA	<i>Resource Conservation and Recovering Act</i>
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivo Específico	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Desempenho das edificações	16
2.2 Conforto ambiental	18
2.2.1 Conforto acústico	18
2.2.2 Conforto térmico	24
2.3 Bloco de concreto	25
2.3.1 Características técnicas	26
2.3.2 Amostragem de blocos de concreto para ensaio	28
2.4 Geração de resíduos sólidos	29
2.4.1 Construção sustentável	29
2.4.2 Resíduos provenientes da construção civil	30
2.5 Gesso	32
2.5.1 O Gesso na construção civil	32
2.5.2 O gesso como RCC	32
2.5.3 O Gesso segundo a Resolução CONAMA nº 431/11	34
2.5.4 O Gesso como material isolante	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1 Blocos de Concreto	37
3.1.1 Análise Dimensional	37
3.1.2 Determinação da absorção de água	38
3.1.3 Determinação da resistência à compressão	39
3.2 Resíduo de gesso	39
3.2.1 Separação e moagem do resíduo	40
3.3 Determinação da umidade do resíduo de gesso	42
3.4 Perfil granulométrico do resíduo de gesso	43
3.5 Protótipos	45
3.6 Medição do ruído	49
3.6.1 Equipamentos utilizados nas medições	49
3.6.2 Procedimentos de medição	50
3.7 Medição de temperatura	50
4 RESULTADOS	54
4.1 Blocos de Concreto	54
4.1.1 Análise dimensional dos blocos de concreto	54
4.1.2 Características físicas	55
4.1.3 Absorção e área líquida	55
4.1.4 Determinação da resistência à compressão	56
4.2 Resíduo de gesso	58
4.2.1 Determinação da massa e do volume de resíduo disposto no furo Dos blocos de concreto	58
4.2.2 Determinação da umidade do resíduo de gesso	61
4.3 Construção dos protótipos	62
4.3.1 Isolamento acústico	62

4.4 Isolamento térmico.....	65
5 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

O uso eficiente da energia tem gerado discussões nas principais nações do mundo. A crise de energia, ocorrida por fatores como a crise de petróleo na década de 1970 ou o seu drástico aumento de preço no início dos anos 1990, aumentou a preocupação governamental em vários locais do mundo em relação ao suprimento de recursos energéticos. Ao mesmo tempo, houve a contribuição global para o aumento do consumo energético do setor das edificações em cerca de 20 a 40% em países desenvolvidos, excedendo grandes setores como indústria e transporte (PÉREZ – LOMBARD *et al.*, 2009 *apud* MORISHITA, 2011).

Devido ao alto consumo de energia do setor de edificações, o regulamento e a certificação do desempenho energético de edifícios vêm se tornando um aspecto importante para sua operação, como um fenômeno que vem se expandindo em muitos países (MORISHITA, 2011). Um regulamento tem caráter normativo e seu principal objetivo é estabelecer limites no consumo de energia, bem como as ferramentas de análise energética a serem utilizadas. Uma certificação é um mecanismo voltado para o mercado, cujo principal objetivo é promover um desempenho energético superior a dos edifícios regulamentados (CASALS, 2005).

A indústria da construção civil é responsável por uma elevada extração de recursos naturais do planeta (GUSMÃO, 2008), sendo a busca por aglomerantes, agregados e demais materiais o motivo da extração, o que, posteriormente, se torna um grande gerador de resíduos.

Entre os materiais que têm sua utilização em largo crescimento na construção civil, destaca-se o gesso. Este pode ser considerado o aglomerante mais antigo que se conhece (BASTOS; LUZ, 2005).

A construção civil, seja por falta de visão ou de consciência dos aspectos ambientais, seja por falta de tecnologia, e ainda por deficiência na aplicação da tecnologia, requer um cuidado especial devido ao aumento do consumo de gesso (BERNHOEFT, 2010). É importante destacar que a Resolução CONAMA nº 431/11 (CONAMA) reclassificou o gesso como um resíduo pertencente à classe “B”, possibilitando a reciclagem do material.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem por objetivo investigar a viabilidade de reaproveitamento de resíduos de gesso gerados pela construção civil buscando conciliar aspectos ambientais e melhoria de propriedades termo-acústicas de blocos de vedação.

1.1.2 Objetivo Específico

Para conseguir atingir o objetivo principal foi necessário cumprir os seguintes objetivos específicos:

- Amostrar resíduos de gesso quanto a sua efetividade aos ensaios;
- Caracterizar o resíduo em sua origem, forma e dimensões dos grãos;
- Caracterizar blocos de concreto:
 - Traço;
 - Dimensões externas e internas;
 - Resistência à compressão;
- Construir protótipo com e sem resíduos;
- Realizar um estudo da viabilidade técnica do procedimento;

1.2 JUSTIFICATIVA

A escassez dos recursos naturais é fato e está comprovada por inúmeros estudos em várias áreas do conhecimento. Tomou forma de ações quando o futuro do planeta começou a ser discutido em vários fóruns que se apoiaram sob a diretriz de um conceito amplo relacionado com o meio ambiente: a sustentabilidade. No Brasil, esta expressão ganhou forma a partir de 1992 com a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO), em 1992, no Rio de Janeiro. As empresas viram a necessidade de se adaptarem ao novo conceito, mesmo sob pressão social e também para garantir mercado.

A cadeia produtiva passou a ter os desafios de desenvolver e adaptar produtos visando suprir as necessidades dos seres humanos sem comprometer o futuro das próximas gerações. O reaproveitamento de materiais tomou grande importância neste contexto de maneira que as grandes cidades estão implantando sistemas de gestão para gerenciar os resíduos recicláveis.

Em Curitiba algumas empresas viram neste mercado uma forma de garantir a sua sobrevivência fazendo com que resíduos da construção civil voltem ao canteiro de obra sob a forma de um novo produto. Esses materiais que são subprodutos do que antes era entulho retornam custando de 20% a 25% menos (MACEDO, 2002). Um desses resíduos da construção civil é o gesso para o qual é estimada uma perda de 45%, do que é usado na obra, no período durante a aplicação na construção civil sendo responsável pela contaminação de outros resíduos devido a sua difícil reutilização (TAVARES, 2010).

Buscando uma opção de aplicabilidade às sobras e rejeitos do gesso aplicado à construção civil e, desta forma, contribuir para o desenvolvimento sustentável da indústria da construção, o presente trabalho se propôs a estudar uma alvenaria composta por blocos de concreto vazados, contendo nos vãos, gesso moído de modo a reaproveitá-lo na construção como um componente capaz de melhorar o desempenho da edificação funcionando com um isolante térmico e acústico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Desempenho das edificações*

Em essência, a abordagem de desempenho na edificação consiste, em análise rigorosa, seguir a aplicação do método científico para medir e aferir os componentes e materiais que compõem uma edificação analisando o conteúdo, as propriedades e os atributos de cada processo que forma a edificação. Contudo, conforme Gibson (1982), a abordagem de desempenho é, primeiramente e acima de tudo, a prática de se pensar em termos de fins e não de meios. A preocupação é com os requisitos que a construção deve atender e não com a prescrição de como essa deve ser construída. A forma de estabelecimento do desempenho é comum e internacionalmente pensada por meio da definição de requisitos qualitativos, de critérios quantitativos ou premissas, e métodos de avaliação, os quais sempre permitem a mensuração clara do seu atendimento. Busca-se definir métodos consistentes de avaliação e de submeter todas as partes da edificação a um exame sistemático de desempenho do uso para o qual foi projetado.

A NBR 15575/2012 – Edificações habitacionais – Desempenho – tem fortes traços dos organismos internacionais relacionados à construção que historicamente buscam edificar com controle de qualidade total e eficiência. Esta norma possui seis partes as quais remetem às outras 157 normas prescritivas brasileiras fazendo uma abordagem de modo a envolver todos os responsáveis pelo processo da construção, dentre os quais, engenheiros, arquitetos, fabricantes de materiais, construtores, consumidores e administradores das obras, cada qual com sua parcela de responsabilidade (ABNT, 2012).

Um marco importante para a aplicação do conceito de desempenho foi a elaboração da ISO 6241, em 1984, que definiu uma lista mestra de requisitos funcionais dos usuários de imóveis. Apesar de ter sido publicada há 24 anos, a ISO 6241 ainda é válida como referência para a consideração de quais requisitos de desempenho devem ser atendidos nas edificações, como, por exemplo, a segurança

estrutural com a resistência de uma viga e os métodos de avaliação para a verificação do atendimento ou não do critério.

REQUISITOS DE DESEMPENHO	CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS
Segurança estrutural	Resistência mecânica
Isolação térmica	Resistência térmica
Isolação acústica	Isolamento acústico
Estanqueidade	Res. Penetração de água
Segurança ao fogo	Resistência ao fogo
Estética	Facilidade de limpeza
Durabilidade	Perfeição geométrica
Economia	Custo de manutenção

Quadro 1 - Desempenho e características funcionais.

Fonte: FRANCO (2002)

Para avaliar o comportamento em uso de uma edificação é necessário desenvolver modelos que representem objetivamente seu desempenho e que permitam a medição de parâmetros descritores deste comportamento. O desenvolvimento de modelos da realidade exige amplo conhecimento dos fenômenos representados e clara identificação das variáveis relevantes. A complexidade de um modelo depende dos recursos disponíveis, da precisão exigida de seus resultados e de características próprias do fenômeno representado (SALGADO, 1996).

Conforme o Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo – IPT, são vários os fatores que influenciam na percepção da qualidade da construção, entre eles tem-se a localização da edificação, a condição climática de cada região, os níveis de ruído externo às edificações. A percepção subjetiva dos usuários em relação à ação dos agentes sobre uma construção é difícil de ser analisada devido às assimilações das percepções de qualidade de cada usuário. No caso do desempenho térmico, um usuário de imóveis que mora numa região de clima tropical, quente e úmido, é mais tolerante à sensação de calor forte do que outro que mora numa região de clima frio.

2.2 Conforto ambiental

Estudos sobre eficiência energética e conforto ambiental apontam princípios básicos a serem seguidos durante a elaboração dos projetos e execução das obras. Algumas premissas dizem respeito às técnicas construtivas e sua adequação ao clima local. Outras descrevem a tipologia de aberturas, apontando o grau de adequação, a depender da função e atividade que o edifício assumir. Dentro dessa dinâmica e desse princípio de sustentabilidade ambiental, todas as construções deveriam, por princípio, ser projetadas para um meio ambiente social e físico específico, para um determinado clima e tempo (TAVARES, 2010).

A ASHRAE , através da norma 55, apresenta a seguinte definição para o que venha ser conforto térmico: “Conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente”

Segundo Vianna e Ramos (2005 *apud* CATAI et al., 2006), só existe conforto acústico quando há um mínimo de esforço fisiológico em relação ao som (e a luz, ao calor e à ventilação) para a realização de uma determinada tarefa. Um ambiente confortável proporciona bem estar e harmonia quando as necessidades são atendidas. As principais variáveis do conforto acústico são: entorno (tráfego); a arquitetura; o clima (ventilação, pluviosidade); orientação/implantação (materiais, mobiliário).

2.2.1 Conforto acústico

2.2.1.1 Ruído

Existem, de acordo com (GERGES, 2003; IIDA, 2005 *apud* CATAI et al., 2010), vários conceitos de ruído, porém, o mais usual o descreve como um “som indesejável”. Porém, o som pode ser desejável para alguns, mas, indesejável para outros, ou mesmo para a mesma pessoa em situações diferentes. Outra definição,

mais usual, define o ruído como “um estímulo auditivo que não contém informações úteis para a tarefa em execução”. Assim o alerta do final de um ciclo de uma máquina pode ser considerado útil para o operador, porém, pode não ser visto da mesma forma pelo operador vizinho que esteja manipulando uma máquina diferente.

2.2.1.2 Legislação acerca do conforto acústico em âmbito nacional

No que tange ao meio ambiente, a Constituição Federal de 1988 assegura em seu artigo 225:

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

A norma ABNT NBR 15575/2008, atualizada em 2013, que trata de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, é de extrema importância, pois estabelece parâmetros de desempenho que até então não existiam e tem por finalidade a avaliação final do produto para que uma edificação seja entregue aos seus usuários com as condições mínimas de conforto, habitabilidade e uso (NETO, 2008).

Um dos itens dessa norma está associado ao desempenho acústico, estabelecendo métodos e critérios em partições internas, bem como em pisos e fachadas de edifícios residenciais.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) possui resoluções relacionadas à questão do ruído. A Resolução CONAMA nº 001/90, se refere à emissão de ruídos de quaisquer atividades e sua relação com a saúde e sossego público e remete aos critérios e diretrizes das Normas da ABNT NBR 10151/2000 e NBR 10152/1987.

2.2.1.3 Procedimentos para a avaliação de ruído segundo a ABNT NBR 10151/2000

A NBR 10151/2000 da ABNT sugere que para a avaliação do ruído sejam seguidos os seguintes procedimentos:

- Medidor de pressão sonora utilizado deve atender às especificações da IEC 60651 para tipo 0, tipo 1 ou tipo 2.
- Calibrador acústico deva atender as especificações da IEC 60942, devendo ser classe 2, ou melhor.
- Aos medidores de nível de pressão sonora e o calibrador acústico devem ter certificação de calibração da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), renovado no mínimo a cada dois anos, devendo ser eventualmente ajustada pelo operador do equipamento para o medidor de pressão sonora, para o calibrador acústico, imediatamente antes e após cada medição.
- Não devem ser realizadas medições na existência de interferências audíveis advindas de fenômenos da natureza, como trovões, chuva forte etc.
- O tempo de medição deve ser escolhido de forma a permitir a caracterização do ruído em questão.

Após a realização da medição, deve-se fazer um relatório tentando conter o maior número de itens dos listados abaixo, com as seguintes informações (ABNT, 2000)

- Marca, tipo ou classe e número de série de todos os equipamentos utilizados;
- Data e número do último certificado de calibração de cada equipamento de medição;

- Desenho esquemático e/ou descrição detalhada dos pontos de medição;
- Horário e duração das medições de ruído;
- Nível de pressão sonora corrigido L_c , indicando as correções aplicadas;
- Nível de ruído ambiente;
- Valor do nível de critério de avaliação (NCA) aplicado para a área e o horário da medição;
- Referência à NBR 10151/2000.

2.2.1.3.1 **Medições**

Sempre que utilizados em fonte externa, o sensor do medidor de pressão sonora deve ser protegido do vento com o uso do seu protetor de acordo com as especificações do fabricante.

As medições devem ser efetuadas em pontos afastados aproximadamente 1,2m do piso e pelo menos a 2m de quaisquer outras superfícies refletoras, como muros e paredes.

As medições internas devem ser efetuadas a uma distância de pelo menos 1m de paredes, teto, piso e móveis, e também realizadas nas condições de utilização normal do ambiente, isto é, com as janelas abertas ou fechadas de acordo com a indicação.

2.2.1.4 Níveis de Pressão Sonora admitidos pela NBR 10152/1987

2.2.1.4.1 Nível de Pressão Sonora, em decibel (L_p)

De acordo com a NBR 10152/1987, o nível de pressão sonora é dado pela expressão:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)^2$$

Onde: P: Valor eficaz da pressão, em pascais.

P_0 : Pressão sonora de referência (20 μ Pa)

2.2.1.4.2 Nível Sonoro Equivalente “ Leq ”

Saliba (2004 apud CATAI et al. 2010), tendo como base a dose, tem-se o nível equivalente de ruído. Este nível apresenta a exposição ocupacional ao ruído durante o tempo de medição e representa a integração dos diversos níveis instantâneos de ruídos ocorridos neste período. A NR-15 possui incremento de duplicação de dose igual a 5 ($q = 5$), ou seja, a cada adição de 5 dB no nível equivalente dobra a equivalência de energia e, conseqüentemente, o risco de dano auditivo. Dessa forma, a Equação a seguir representa o nível equivalente de ruído conhecido como Leq .

$$Leq = 85 + 16,6096 \times \log \left(\frac{D \times 480}{t} \right) [dB] \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

Leq = Nível equivalente de ruído;

D = Dose equivalente de ruído (índice);

t= Somatório dos tempos de exposição em minutos.

Os valores fixados pela NBR para avaliação de ruídos em ambientes, com janelas abertas ou fechadas, variam ainda conforme o ruído seja aferido em períodos diurno ou noturno. Para medições realizadas no interior de edificações devem ser consideradas correções, sendo de menos 10 dB(A) para janela aberta e menos 15 dB(A) para janela fechada. No Quadro 2 são apresentados os padrões fixados pelas normas, NBR 10151/2000 e NBR 10152/1987 e no Quadro 3 são mostrados os níveis de critério para ambientes internos, segundo a NBR 10152/1987.

Tipos de Áreas	Ambientes Externos		Ambientes Internos			
	Diurno	Noturno	Diurno		Noturno	
			Janela Aberta	Janela Fechada	Janela Aberta	Janela Fechada
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas, (dB(A)).	50	45	40	35	35	30
Áreas mistas, predominantemente residenciais, (dB(A)).	55	50	45	40	40	35
Áreas mistas, com vocação comercial e administrativa, (dB(A)).	60	55	50	45	45	40

Quadro 2 - Nível de aceitação segundo a NBR 10152/1987.

Fonte: ABNT (1987)

Tipos de Áreas	Ruído diurno, (dB(A))	Ruído externo, (dB(A))
Área de sítios e fazendas.	40	35
Área estritamente residencial urbana.	50	45
Área mista, predominantemente residencial.	55	50
Área mista com vocação comercial.	60	55
Área mista com vocação recreacional.	65	55
Área predominantemente industrial.	70	60

Quadro 3 - Nível critério de aceitação para ambientes externos segundo NBR 10151/2000.

Fonte: ABNT (2000)

2.2.2 Conforto térmico

O conforto térmico pode ser definido como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda (LAMBERTS, 2005). Para que uma edificação habitacional seja caracterizada com um bom conforto térmico, ela deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, fazendo com que os seus habitantes não sintam um desconforto gerado pela sensação de frio ou calor.

O desempenho térmico do edifício depende da região de implantação da obra e as respectivas características bioclimáticas definidas nas normas ABNT NBR 15220-3/2003 e NBR 15575-01/2013 bem como do comportamento interativo entre fachada, cobertura e piso.

2.2.2.1 Temperatura

A temperatura é uma grandeza física comumente associada às noções de frio e quente. Em uma descrição do ponto de vista microscópico, ela é definida como a medida da energia cinética associada à vibração das partículas (em um sólido) ou ao movimento das partículas (em um gás) (KAPP et al. 2010).

2.2.2.2 Medição do desempenho térmico

Para a medição do desempenho térmico, deve-se levar em conta algumas variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa do ar.

A norma da ABNT NBR 15575/2013 estabelece um procedimento normativo e dois procedimentos informativos para avaliação da adequação de habitações, sendo eles listados a seguir:

“a) procedimento 1 - Simplificado (normativo): verificação do atendimento aos requisitos e critérios para fachadas e coberturas, estabelecidos nas ABNT NBR 15575-4 e ABNT NBR 15575-5, para os sistemas de vedação e para os sistemas de cobertura, respectivamente;

b) procedimento 2 - Simulação (informativo, Anexo A): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta ABNT NBR 15575-1, por meio de simulação computacional do desempenho térmico do edifício;

c) procedimento 3 - Medição (informativo, Anexo A): verificação do atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos nesta ABNT NBR 15575-1, por meio da realização de medições em edificações ou protótipos construídos.”

2.3 Bloco de concreto

O bloco de concreto é um dos produtos que foi desenvolvido na sistemática de produção em série, com o incremento de mecanismos capazes de agilizar sua produção pensando em uma forma modular de construção. A produção dos blocos de concreto iniciou-se nos Estados Unidos no final do século XIX tendo grande aceitação também na Europa, principalmente na Alemanha, Inglaterra e França. Segundo Medeiros (1993), estima-se que mais de dois terços das alvenarias construídas nos Estados Unidos sejam de bloco de concreto. Por serem modulares, os blocos de concreto tornam a construção mais racional resultando em economia, conforme cita a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP.

A primeira máquina de produção deste artefato de cimento que chegou ao Brasil na década de 1950 foi importada dos Estados Unidos. Hoje os blocos estão atendendo quase 25% da demanda nacional (MEDEIROS, 1993). Segundo a Associação Nacional do setor da Indústria da cerâmica vermelha – ANICer, o segmento de blocos cerâmicos e tijolos vive um cenário de demanda aquecida, mas vem perdendo mercado principalmente para os artefatos de cimento e sistemas do tipo drywall – conceito de construções a seco. Esta aceitação deve-se principalmente à rapidez de levantamento das alvenarias, à robustez das peças dos

blocos e a facilidade de montagem das estruturas com economia significativa com madeiras de caixarias uma vez que o bloco, sendo vazado, serve para acondicionar o concreto e as armaduras necessárias sem a necessidade de montagem das caixarias. Além disso, vários formatos e tamanhos de blocos foram implementados na produção de modo a tornarem-se versáteis na construção civil.

2.3.1 Características técnicas

Bloco vazado de concreto é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 12118/2011 como sendo elemento de alvenaria cuja seção transversal média útil seja inferior a 75% da seção transversal bruta com dimensões coordenadas para a execução de alvenarias modulares confeccionados com cimento Portland, água e agregados minerais, com ou sem inclusão de outros materiais. Outras peças com dimensões diferenciadas também fazem parte da alvenaria, necessárias para a continuidade das divisões internas e dobramentos de paredes, tratadas como elementos especiais, como as mostradas na figura 1.

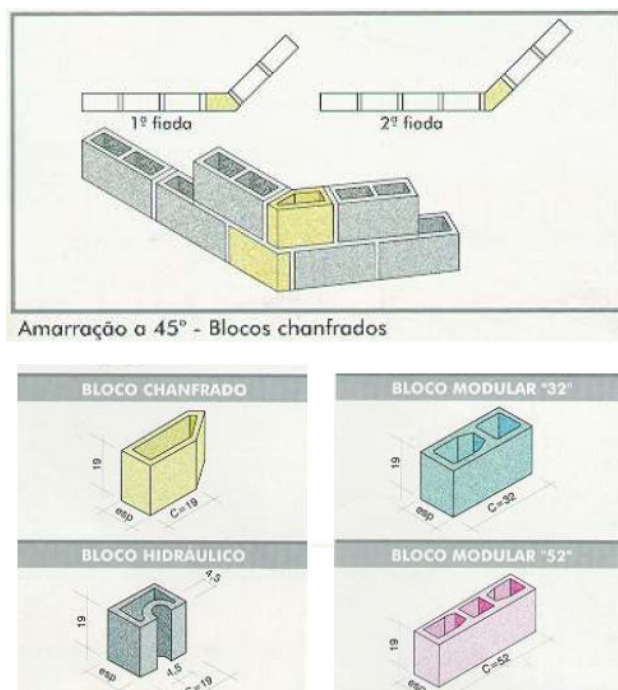


Figura 1 - Elementos especiais da alvenaria de bloco de concreto.

Fonte: Prates (2010)

No setor de produção dos blocos de concreto, devido à grande variedade de tamanho das peças necessárias à modulação da alvenaria, o conjunto de blocos que formam um tipo de alvenaria são classificados por família modular, embora a norma não faça esta denominação, fazendo referências apenas às dimensões das peças. Desta forma, projetar a edificação com a família 29, por exemplo, é utilizar a unidade modular 15 em que 15 é a medida do bloco de 14 cm, mais 1 cm de espessura das juntas (MAMEDE, 2001). No caso da família 29, os blocos têm sempre 14 cm de largura. Ou seja, o comprimento dos blocos é sempre múltiplo da largura, o que evita o uso dos elementos compensadores, salvo para ajuste de vãos de esquadrias.

Os blocos com largura de 14 cm exigem elementos compensadores, já que seu comprimento não é múltiplo da largura. Os elementos compensadores são necessários não só para ajuste de vãos de esquadrias, mas também para compensação da modulação em planta baixa. Desta forma, utilizam-se peças especiais para ajuste da unidade modular nos encontros das paredes internas e de canto (PRATES, 2003).

As paredes dos blocos bem como as mísulas formadas pelas arestas internas do bloco são prescritas pela norma NBR 12118/2011 (Tabela 1).

Designação	Paredes longitudinais (mm)	Paredes transversais	
		Paredes ^a (mm)	Espessura Equivalente ^b (mm/m)
M-15	15	15	188
M-20	32	25	188

Notas:

a – Média das medidas das três paredes tomadas no ponto mais estreito.

b – Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em mm), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros lineares).

Tabela 1 - Dimensões das paredes dos blocos.

Fonte: ABNT (2011)

Os blocos de concreto podem ser aplicados na construção com o objetivo simplesmente de vedação como alvenaria simples sem função estrutural, ou podem suportar as cargas advindas da edificação sendo, no entanto, assentados com a função estrutural.

A normalização brasileira determina a resistência à compressão axial os blocos de concreto de acordo com sua finalidade. A NBR 12118/2011 determina que a resistência à compressão mínima para os blocos de vedação é 2,0 MPa.

2.3.2 Amostragem de blocos de concreto para ensaio

Conforme a ABNT NBR 12118:2010 a amostragem necessária para os ensaios deverá ser conforme exposto no Quadro 4.

Tamanho do lote	Tamanho da amostra		
	Ensaio Compressão	Ensaio Dimensional	Ensaio Absorção
Até 5.000	6	3	3
5.001 a 10.000	8	4	3
10.001 a 20.000	14	7	3

Quadro 4 – Tamanho mínimo da amostra submetida à análise dimensional.

Fonte: ABNT (2010)

2.4 Geração de resíduos sólidos

Está provado, por meio de vários estudos, que a construção civil é, se não o maior, um dos maiores geradores de resíduos nos centros urbanos. Para algumas cidades Brasileiras, PINTO (1999) estimou que 41 a 70% da massa de resíduos sólidos são de RCC. Ou seja, esse valor supera inclusive a massa de resíduos domésticos, que hoje em dia é um dos maiores causadores de impacto no meio ambiente.

No Brasil, a preocupação com o correto manuseio e destinação dos resíduos ainda não chegou a um avanço significativo ao compararmos com os EUA, por exemplo. Lá, em 1960 já existia uma política para tal, chamada de *Resource Conservation and Recovering Act* (RCRA) e até hoje é incentivada de uma forma mais forte a compra e uso de produtos que não agridam o meio ambiente e também produtos que contenham resíduos (JOHN e AGOPYAN, 2005).

2.4.1 Construção sustentável

Segundo o Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica - IDHEA , construção sustentável é um sistema construtivo que promove alterações conscientes no entorno, de forma a atender as necessidades de edificação e uso do homem moderno, preservando o meio ambiente e os recursos naturais, garantindo qualidade de vida para as gerações atuais e futuras. Para uma obra ser considerada sustentável, ela deve causar o menor impacto sobre o meio ambiente e a saúde de seus ocupantes. Esta é a linha-mestra.

2.4.2 Resíduos provenientes da construção civil

O setor de construção civil é líder mundial em questão de consumo de recursos naturais. Individualmente, consome de 15 a 50% de todos os recursos extraídos na natureza (JOHN, 2000).

Devido a esses fatores que o setor é um dos maiores causadores de impacto ambiental no planeta. As diversas etapas de uma construção, desde a extração da matéria-prima, produção de materiais, construção, utilização e demolição, interferem negativamente de alguma maneira o ambiente. Essa influência pode ser nas condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; na saúde, a segurança e o bem-estar da população; nas atividades sociais e econômicas e na qualidade dos recursos ambientais.

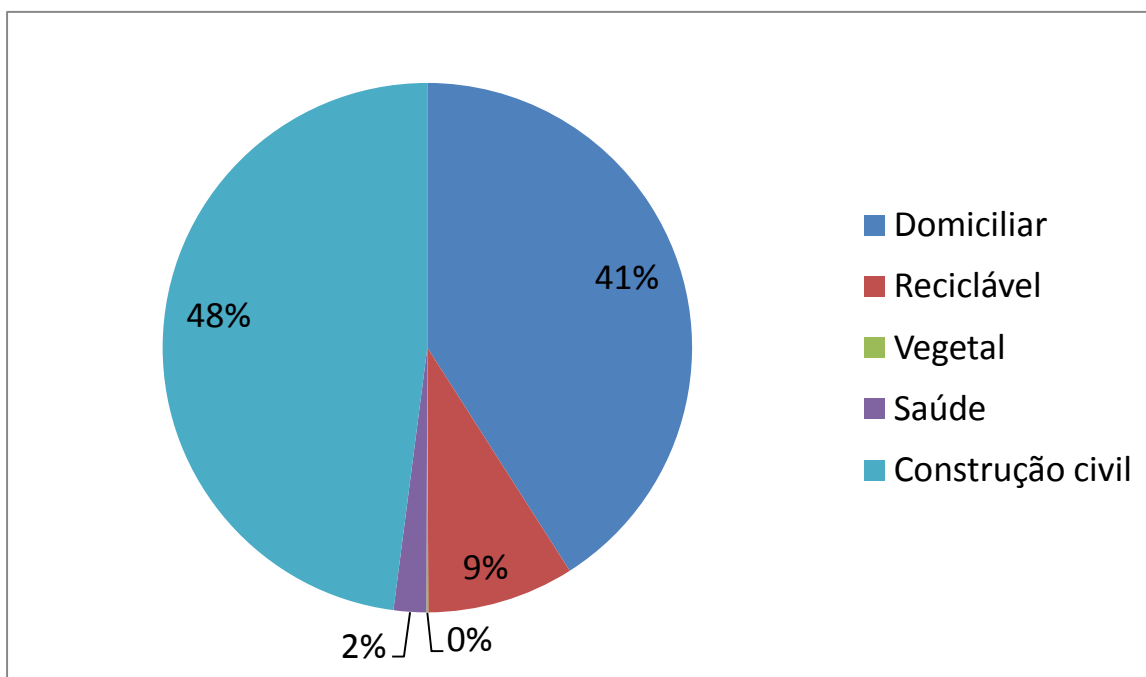


Gráfico 1 - Proporção de resíduos sólidos em Curitiba.

Fonte: Departamento Meio Ambiente - Limpeza Pública (MALP) (SMMA 2004). Extraído de BORGES e BODZIAK (2010)

2.4.2.1 Resolução CONAMA – nº 307/02

O CONAMA aprovou pela Resolução N°307/02, e alterou pela Resolução N° 431/11, os critérios e procedimentos para a gestão dos Resíduos da Construção Civil (RCC). Com essa diferenciação dos RCC, ficam facilitadas as possibilidades de manuseio, coleta, segregação e futuro reaproveitamento dos resíduos.

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; *(redação dada pela Resolução nº 431/11)*.

III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; *(redação dada pela Resolução nº 431/11)*.

IV - Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

É bom salientar que, para fins de melhor desempenho da Resolução, os geradores de resíduos devem ter como objetivo principal a não geração de tais resíduos e, em caráter secundário, a redução, reutilização, reciclagem. Também deve ter a responsabilidade pela destinação final de tais materiais, levando em conta que os locais apropriados para a disposição de tal material.

2.5 Gesso

2.5.1 O Gesso na construção civil

O uso do gesso na construção civil brasileira vem crescendo gradativamente ao longo dos últimos anos. Ganhou impulso a partir de meados da década de 1990, com a introdução da tecnologia drywall nas vedações internas de todos os tipos de edificações no país. A isso se somam todos os usos tradicionais do gesso como material de revestimento, aplicado diretamente em paredes e tetos, e como material de fundição, utilizado na produção de placas de forro, sancas, molduras e outras peças de acabamento (DRYWALL, 2010).

Todas essas utilizações geram resíduos. E a gestão destes, da mesma forma que ocorre com outros materiais empregados nos canteiros de obras, passou a demandar atenção cada vez maior dos construtores, em razão das rigorosas exigências da legislação ambiental brasileira (DRYWALL, 2010).

2.5.2 O gesso como RCC

A grande quantidade de matéria-prima presente na natureza e suas características como isolante térmico e acústico fazem do gesso um material relativamente barato e com uso bastante difundido na indústria da construção civil, especialmente nos projetos de interiores (HERMES, 2011).

Entretanto, durante a fase de aplicação, a geração de resíduo ocorre devido à alta velocidade de endurecimento do gesso de construção. Estima-se que o índice de desperdício seja equivalente a 45% de todo o gesso utilizado (HERMES, 2011).



Figura 2 – Resíduos gerados durante a aplicação de gesso.

Fonte: Os autores.

Mota (2007) afirma que parte das perdas permanece na parede como excesso de espessura e outra parte será incorporada aos resíduos de construção provenientes da construção e ou demolição da edificação, conforme mostrado na Figura 3 fornecendo um resíduo potencialmente mais contaminado e de processo oneroso para sua reciclagem.



Figura 3 - Perda de Material.

Fonte: DRYWALL (2010)

Essa geração de resíduo causa problemas econômicos e ambientais, pelo custo elevado para sua correta destinação (TAVARES, 2010). O Gráfico 2 demonstra a porcentagem dos resíduos de gesso divididos em suas áreas de aplicação.

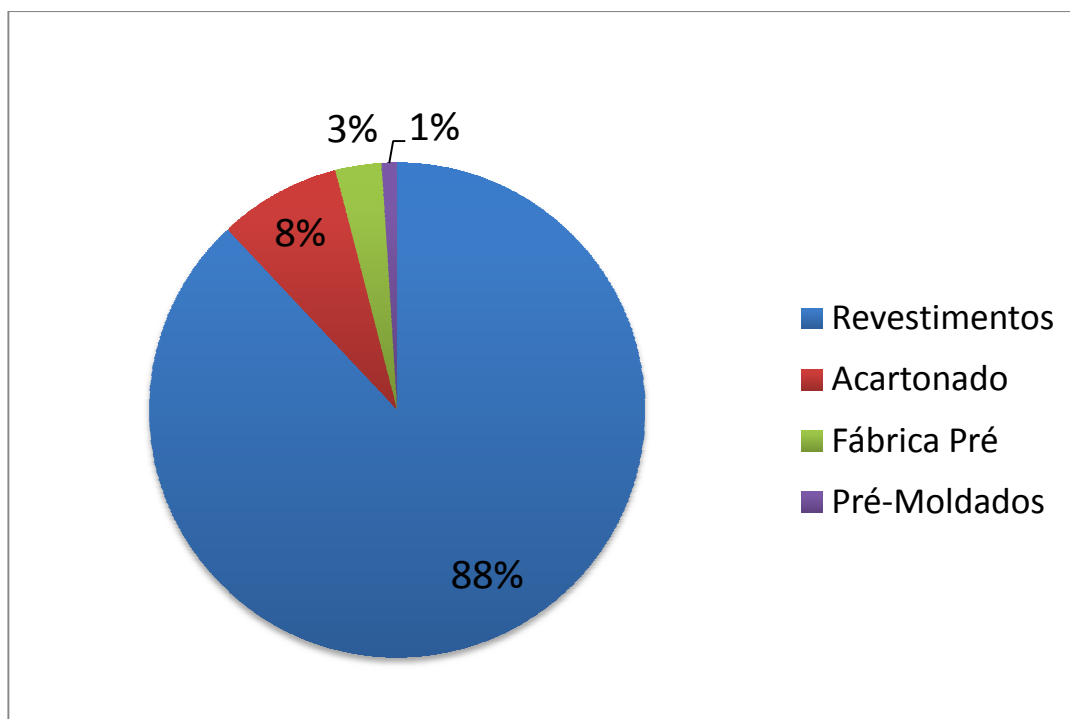


Gráfico 2 - Fonte de resíduos de gesso.

Fonte: JOHN, 2003

2.5.3 O Gesso segundo a Resolução CONAMA nº 431/11

Em 2011, o CONAMA através de sua Resolução nº 431/11 reclassificou os resíduos oriundos do gesso, os quais passaram a ser considerados recicláveis e, portanto, passando a figurar como resíduo de Classe B. Anteriormente, a resolução nº 307/02 considerava o material como de Classe C, o que significa que não havia tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitiam sua reciclagem ou recuperação.

2.5.4 O Gesso como material isolante

Por suas propriedades físico-químicas, o gesso é considerado isolante térmico e acústico natural. Uma simples parede de gesso acartonado com 16cm de espessura, com lã de vidro no interior, pode-se obter o mesmo isolamento acústico do que um muro de concreto de 18cm de espessura = 60dB(A), entretanto a parede de gesso pesará apenas 40kg/m², contra os 414kg/m² do muro de concreto. O gesso também não é inflamável. A grande quantidade de água contida no gesso hidratado confere-lhe excelentes propriedades como material de proteção passiva. Resiste até 120° C de temperatura (ARGENTA et al., 2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para chegar aos resultados esperados, foram realizados ensaios de acordo com as normas regulamentadoras. Os ensaios consistiram em uma comparação de um protótipo construído em blocos de concreto no tamanho de 1x1x1m aproximadamente, em seu estado original com outro similar, mas confeccionado com a inserção de gesso nos furos dos blocos com a finalidade de possuir melhores propriedades termo-acústicas, ou seja, isolar sons e calor. Alguns dos procedimentos foram adaptados, a fim de se adequar aos modelos de escala reduzida. O procedimento para desenvolvimento do estudo seguiu o fluxograma abaixo, ilustrado na Figura 4.

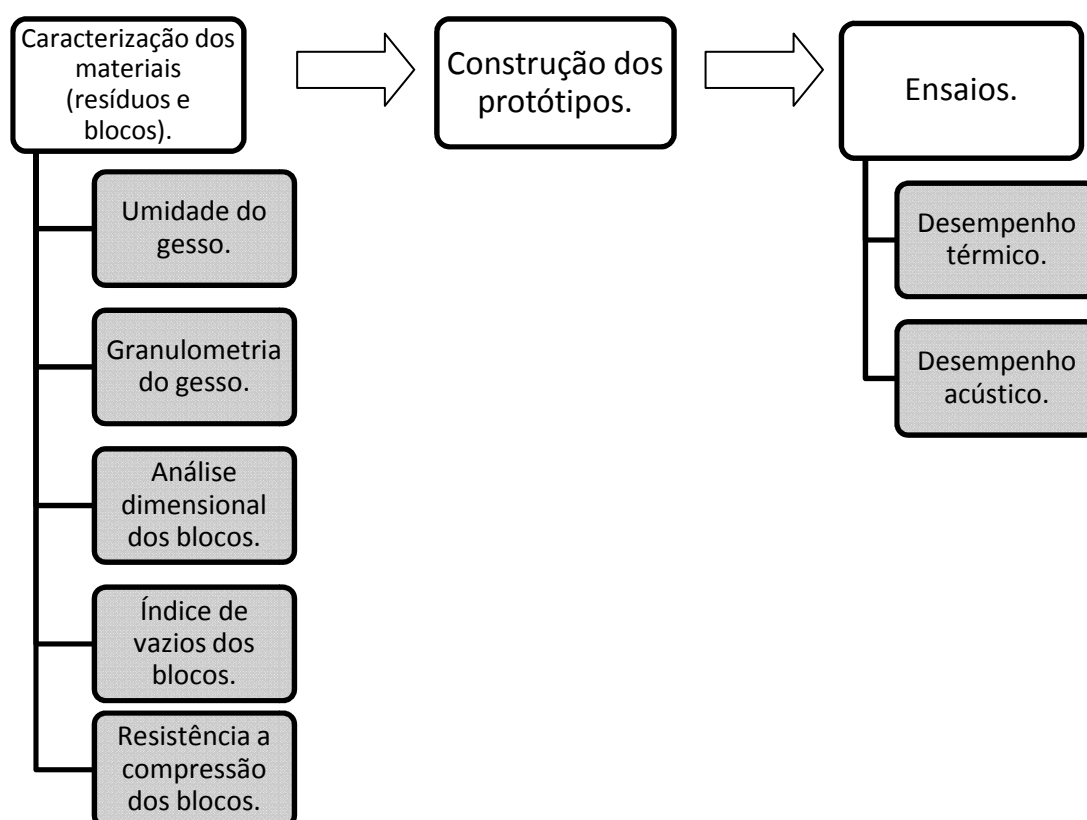


Figura 4 - Fluxograma dos procedimentos realizados para o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Blocos de Concreto

Os blocos de concreto utilizados na construção dos protótipos foram blocos comerciais comuns de dimensões (14 x 19 x 39) cm, adquiridos em uma fábrica na região de Curitiba. O traço utilizado na produção dessas peças, segundo o fabricante, é de 1:8 em massa, ou seja, para cada saco de 50 kg de cimento ARI, aproximadamente 35 kg de cimento, coloca-se 280 kg de agregados, sendo esses uma mistura de areia e pedrisco na proporção de 1:1.

As normas utilizadas para a realização dos ensaios foram a ABNT NBR 6136:2006 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos; e a ABNT NBR 12118:2010 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de Ensaio. Os blocos de concreto ensaiados e utilizados na construção dos protótipos foram, conforme classificação da norma, da Classe D, sem função estrutural, para uso acima do nível do solo do tipo M-15.

Todos os ensaios de blocos de concreto ocorreram no laboratório de materiais da UTFPR, localizado no Campus Ecoville.

3.1.1 Análise Dimensional

Para o ensaio de análise dimensional foram selecionadas 03 peças, conforme normas da ABNT NBR 12118:2010 e NBR 6136:2006 para verificação das seguintes dimensões:

- comprimento, largura e altura: 03 medidas em cada face;
- espessura das paredes transversais: 01 medida em cada parede;
- espessura das paredes longitudinais: 02 medidas em cada furo.

Para a realização destas medidas foi utilizado um paquímetro (precisão em mm ou pol): utilizado para medição dos blocos de concreto no ensaio de análise dimensional. O equipamento possui resolução de 1 mm e comprimento adequado à dimensão máxima do bloco;

Para os furos dos blocos foram adotadas as medidas conforme Figura 5.

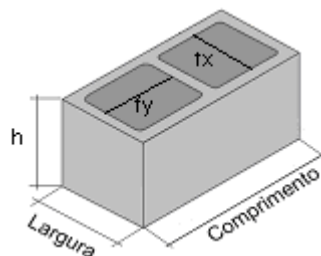


Figura 5 - Representação das dimensões de um bloco de concreto.

3.1.2 Determinação da absorção de água

Para a determinação a absorção de água foi adotada os seguintes procedimentos listados na NBR 12118:2010:

- pesagem das amostras (blocos) obtendo-se a massa m_1 (condições naturais);
- colocação dos blocos na câmara úmida por 24 h obtendo-se a massa m_2 ;
- colocação em estufa por 24 horas (110 ± 5)°C obtendo-se a massa m_3 .

Os equipamentos utilizados para este ensaio foram:

- Estufa de secagem com capacidade para manter a temperatura no intervalo de (110 ± 5)° C com o objetivo de redução da umidade do corpo de prova para o ensaio de absorção de água;
- Balança digital digimed modelo KN 15c com resolução de 5g;

3.1.3 Determinação da resistência à compressão

A verificação dessa característica é fundamental para determinar a segurança estrutural da edificação, pois verifica a capacidade de carga que os blocos de concreto para vedação suportam quando submetidos a forças exercidas de outros elementos da estrutura e determina se as amostras oferecem resistência mecânica adequada.

O ensaio foi realizado segundo a sequência abaixo, de acordo com a ABNT NBR 12118:2010:

- Capeamento das peças, com espessura inferior a 3mm.
- Colocação na prensa para ruptura das amostras, obtendo-se as tensões para o cálculo da resistência à compressão.

Para realização do ensaio foi utilizada uma prensa hidráulica informatizada EMIC modelo PC200 com capacidade de 200tf: com velocidade de 1mm/min. Além de argamassa com traço 1:2.

O parâmetro adotado como mínimo para resistência à compressão individual foi de 2,0 MPa, conforme critério estabelecido pelo INMETRO.

3.2 Resíduo de gesso

O resíduo de gesso utilizado no preenchimento dos furos dos blocos de concreto foi obtido em uma obra na cidade de Curitiba e transportado através de sacos de ráfia – Figura 6. Foram recolhidos aproximadamente 500kg de resíduo, entre os dias 19/07/2013 e 26/07/2013.

Esse resíduo era composto por sobra de gesso desempenado, pedaços de placas de gesso acartonado, e também pedaços de sancas e placas de forro de gesso como mostra a Figura 6. Desta forma, para a utilização desejada neste trabalho, esse resíduo teve de ser previamente separado manualmente na obra.

Contudo, a separação prévia não impediu de coletar materiais graúdos o que levou à necessidade de fazer outra seleção, deixando o máximo possível de gesso de revestimento, e o peneiramento deste resíduo bem como sua moagem de modo a obter um resíduo mais homogêneo em termos de granulometria. Assim sendo, foi escolhido pelos autores material de diâmetro menor ou igual a 25 mm, pois assim, os vazios também seriam mais facilmente preenchidos.



Figura 6 - Resíduo de gesso na obra.

Fonte: Os autores (2013).

3.2.1 Separação e moagem do resíduo

A moagem do gesso foi realizada na UTFPR, campus ecoville, no laboratório de materiais. Para a realização da moagem foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Conjunto de peneira padrão de bancada;
- Vibrador de peneira;
- Balança digital marca digimed, modelo KN15c com resolução de 0,1g;
- Estufa de secagem com capacidade para manter a temperatura no intervalo de $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$;
- Moinho de ensaio à abrasão “*Los angeles*” com capacidade para 15 kg com 10 bolas;

As normas utilizadas para a realização dos ensaios foram a ABNT NBR NM ISO 3310-2:2010, e a ABNT NBR 7211:2009 – Agregados para concreto – Especificação.

Devido ao material coletado possuir vários tamanhos e formas, incluindo pedaços de placas e sancas de gesso – Figura 7, esses tiveram de ser separados através de peneiramento. A peneira utilizada para a separação foi a de 1” (25mm) da série intermediária, ou seja, somente os materiais retidos nesta peneira passaram pelo moinho de bolas, para que estes tivessem granulometria menor, a fim de que o preenchimento dos blocos fosse o melhor possível.



Figura 7 - Separação do resíduo em peneiras de 25mm.

Fonte: Os autores (2013).

Após o peneiramento prévio, o resíduo retido na peneira de 25 mm foi moído em moinho de bola, representado na Figura 8. Para cada 300 voltas no moinho, retirava-se o resíduo e peneirava-o novamente de modo que o resíduo retido na peneira retornava para o moinho até que todo o material obtivesse granulometria menor ou igual a 25 mm.



Figura 8 - Moinho de bolas utilizado na moagem do resíduo.

Fonte: Os autores (2013).

3.3 *Determinação da umidade do resíduo de gesso*

Algo que é de extrema importância a ser revelada é a umidade do material no momento de sua quebra. Quando o mesmo se encontra em estado úmido, seja devido ao método de armazenagem ou qualquer outro fator, sua quebra se torna complicada e demorada. Recomenda-se que, fora a moagem, seja feita uma quebra manual mediante ao impacto, com martelo ou outra ferramenta similar. Foi testada também uma forma de quebra após secagem em forno a 80°C. Dessa maneira, a quebra foi experimentalmente observada como mais fácil. Porém, a inviabilidade de levar todo o material para a estufa para apenas depois quebrá-lo tornaria o evento muito demorado.

3.4 Perfil granulométrico do resíduo de gesso

Do material não moído, ou seja, aquele vindo da obra sem qualquer peneiramento e sem a moagem, somente separado manualmente na obra (*in natura*), foi retirado de cada pacote uma amostra de modo a formar um lote de 10000g. Este material foi utilizado para traçar o perfil granulométrico grosso, cujos resultados são expostos no Quadro 5 e pelo Gráfico 3.

Peneiramento grosso				
Peneiramento	(mm)	Material retido	% retido	%Ret. Acum
2 1/2"	63,5	1318,15	13,2%	13%
2"	50,8	726,36	7,3%	20%
1 1/2"	38,1	514,17	5,1%	26%
1 1/4"	31,7	256,43	2,6%	28%
1"	25,4	1748,15	17,5%	46%
<1"	<25,4	5436,46	54,4%	100%

Quadro 5 - Peneiramento grosso - material "*in natura*"

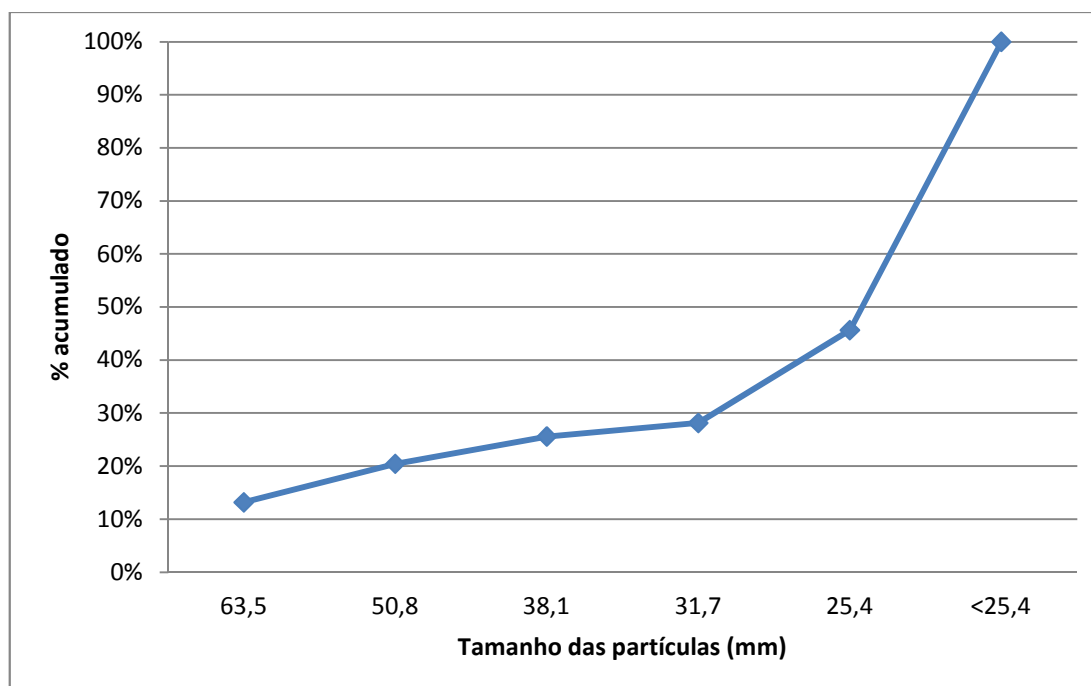


Gráfico 3 - Peneiramento grosso.

Do resíduo seco utilizado para a determinação da umidade foi pesado 1000g para a determinação da granulometria. Como o objetivo era verificar o perfil granulométrico total, foi utilizada toda a série de peneiras. O Quadro 6 e o Gráfico 4 apresentam o perfil granulométrico do material moído.

Peneira	(mm)	Material retido (g)	% Retido	% Retido Acumulado
1"	25,4	31,4	3,1%	3,1%
3/4"	19,1	27,28	2,7%	5,9%
1/2"	12,7	80,15	8,0%	13,9%
3/8"	9,52	74,01	7,4%	21,3%
1/4"	6,35	93,52	9,4%	30,6%
4	4,76	55,38	5,5%	36,2%
8	2,38	106,1	10,6%	46,8%
16	1,18	251,73	25,2%	72,0%
25	0,71	123,06	12,3%	84,3%
50	0,300	92,17	9,2%	93,5%
100	0,150	2,66	0,3%	93,7%
<100	<0,150	62,42	6,2%	100,0%

Quadro 6 - Peneiramento fino - material moído.

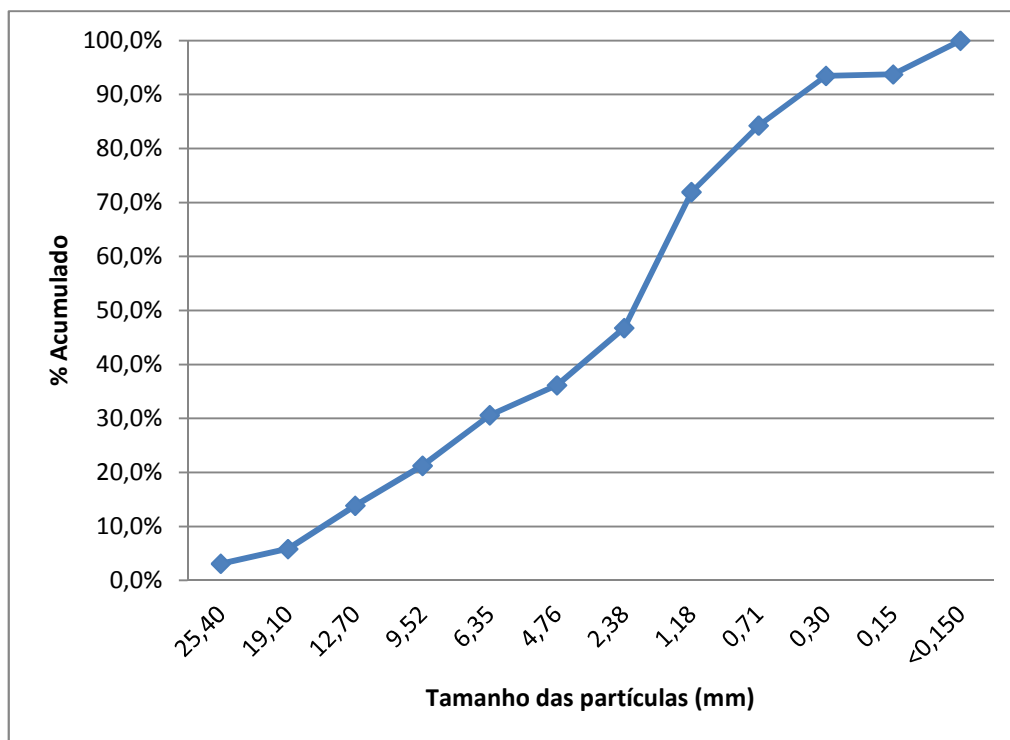


Gráfico 4 - Peneiramento fino - material moído.

3.5 *Protótipos*

Para atender ao objetivo deste trabalho, o qual é de oferecer mais uma opção para a reutilização de resíduos de gesso da construção civil, foi introduzido esse resíduo nos furos de blocos de concreto em edificações que possuem este tipo de alvenaria. Com o intuito de analisar o comportamento térmico e acústico da parede construída com o bloco de concreto tendo o resíduo de gesso em seu interior, ou seja, nos furos desses blocos, houve a necessidade de construir dois protótipos de edificação utilizando blocos de concreto. Um deles sem e outro introduzindo o referido resíduo nos furos dos blocos, de modo a obter uma referência para analisar os resultados.

O local escolhido para a construção dos protótipos foi no 1º andar do bloco IJ da UTFPR Campus Ecoville e, visando não comprometer a laje deste pavimento, escolheu-se fazê-lo em local onde tivesse viga e coluna de sustentação da laje, como mostra a Figura 9. A laje deste pavimento é do tipo pré-fabricada em concreto

protentido e o acabamento do piso em mosaico lixado. No assentamento dos blocos, foram colocadas folhas de pepal dobradas para evitar a adesão entre a argamassa de assentamento dos blocos e o piso da laje.



Figura 9 - Local de construção dos protótipos.

O projeto destes protótipos previa construí-los com paredes de 1m de comprimento e 1m de altura (Figura 10). No entanto, devido ao tamanho padrão das peças dos blocos, módulos M-15 de dimensões nominais comprimento = 39mm, largura = 14mm e altura = 19mm, os protótipos ficaram com as seguintes dimensões (medidas externas): Largura = comprimento = 95cm e altura = 80cm, conforme mostra a Figura 11.

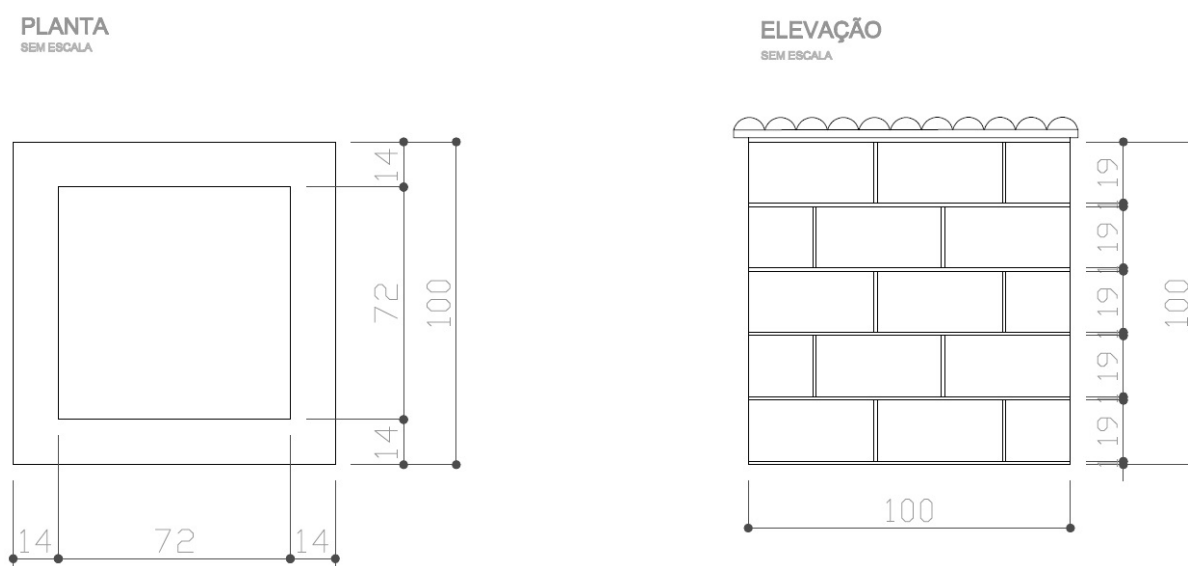


Figura 10 - Croqui original do protótipo.

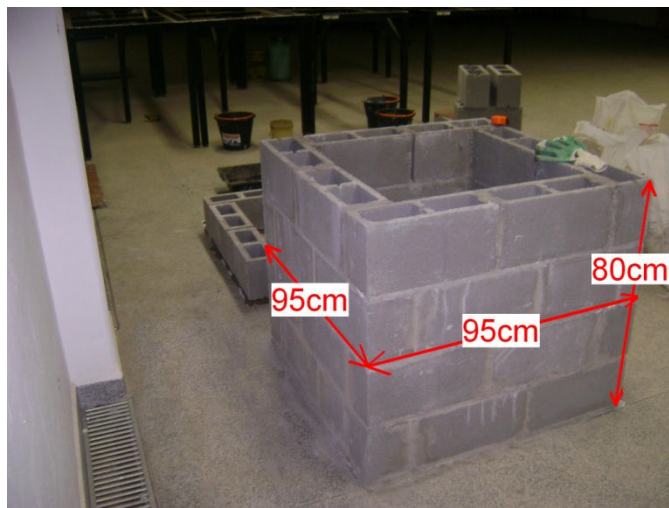


Figura 11 - Dimensões *as built* dos protótipos.

A argamassa utilizada no assentamento dos blocos foi constituída por cimento, cal e areia fina, na proporção de 1:0,5:6 em volume, ou seja, para cada balde de cimento Portland CP 32Z, utilizou-se meio balde de cal hidratada e seis baldes de areia passante na peneira 4,76mm, e a água foi colocada de modo a obter uma argamassa consistente e com boa aderência. Para as juntas, adotou-se uma espessura máxima de 1cm.

A inserção do resíduo de gesso nos furos dos blocos foi feita fiada por fiada conforme mostra a Figura 12.



Figura 12 - Construção do protótipo contendo resíduo nos furos dos blocos.

O fechamento e o isolamento superior dos protótipos foram feitos de modo a conseguir um isolamento térmico e acústico adequado. Desta forma, utilizou-se manta térmica aluminizada e isopor de 5 cm de espessura contendo abas do mesmo material nos lados de modo a obter uma tampa isolante, conforme mostra a Figura 13.



Figura 13 - Fechamento e isolamento superior dos protótipos.

3.6 Medição do ruído

A medição do ruído teve como objetivo verificar o desempenho acústico do protótipo com resíduo de gesso, comparando-o com o protótipo sem o resíduo.

3.6.1 Equipamentos utilizados nas medições

Para a medição do ruído foram utilizados dois (2) equipamentos, fornecidos pelo Laboratório de Segurança e Ergonomia do Departamento Acadêmico de Construção Civil da UTFPR com as seguintes prescrições da ABNT – NBR 10151:2000:

- Decibélímetro digital Instrutherm modelo DEC 5010 padrão IEC tipo 2, com escala de frequência entre 31,5 e 8000 Hz, faixa dinâmica entre 30 e 130 dB(a), resolução 0,1 dB(A), ponderação A e C, ponderação de tempo *fast* (125ms) e *low* e precisão de $\pm 1,5$ dB(A).



Figura 14 - Modelo de decibélímetro utilizado nas medições de ruídos.

3.6.2 Procedimentos de medição

Para a medição do ruído, o instrumento foi previamente calibrado para a leitura de nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), em decibels ponderados em “A” [dB (A)]. Este nível é obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo o intervalo de medição. O tempo de leitura foi fixado em 15 minutos.

Em cada protótipo foi colocado um decibelímetro, ambos com a mesma calibração e na mesma posição. Assim que o tempo começou a ser marcado, as tampas dos protótipos foram colocadas e, para simular um ruído, foi ligado um áudio contendo faixa de música eletrônica, distante de 1,5m na linha média entre os protótipos. Corrido o tempo de 15 minutos, as tampas foram retiradas para a leitura dos decibelímetros.

Depois de feito esse experimento que resultou em valores duvidosos, foi feito novamente o ensaio, seguindo uma metodologia diferente: Ligou-se uma betoneira com brita em seu interior para a produção de som. Dessa vez, foi introduzida uma chapa de madeira para ajudar no isolamento acústico do sistema, em especial da cobertura. Assim, foi possível obtenção de resultados mais confiáveis.

3.7 Medição de temperatura

Para as temperaturas e transferências de calor, o aparelho Termopar, que é um aquisitor de dados com cabo de compensação tipo K de dois metais. Para que pudesse ser utilizado, deve-se fazer a calibração. Esta se deu da seguinte maneira: Pelo fato de o aparelho trabalhar com uma diferença de potencial (DDP) gerada pelo contato de dois metais diferentes, são necessários vários parâmetros como calibragem. Primeiramente, é esquentada água a 80°C. Então são mergulhados os sensores no seu interior, onde e quando cada um deles vai ler uma DDP e assimilar como correspondência para dada temperatura. A DDP em cada sensor pode ser

diferente dos outros, mas o importante é que cada uma delas correspondam a mesma temperatura. Tal medição foi repetida novamente para as temperaturas de 50°C, 30°C, 10°C e para a temperatura de 0°C, em que a água está em equilíbrio térmico com cubos de gelo.

Devido à inviabilidade de sua construção ao ar livre, a metodologia teve que ser revista, em relação a ideia inicial e ao uso cotidiano, em que o ambiente em estudo é o interno de uma edificação sujeita às intempéries. O fluxo de calor foi medido de dentro pra fora, com o auxílio de uma fonte de calor interna aos protótipos. O resultado tem o mesmo significado, pois ele envolve apenas a grandeza de gradiente de transferência de calor.

Foi instalada uma lâmpada de 200 Watts dentro de cada uma dos protótipos, fixada a uma altura de aproximadamente 70 cm. Do chão, pendurada em uma “tala” de madeira que havia sido fixada por pressão em duas paredes opostas dentro do protótipo. Para completar o conjunto, foram instalados os dez leitores do termopar em posições estratégicas, servindo quatro canais (leitores) para cada uma das construções e outros dois para medidas auxiliares, conforme segue:

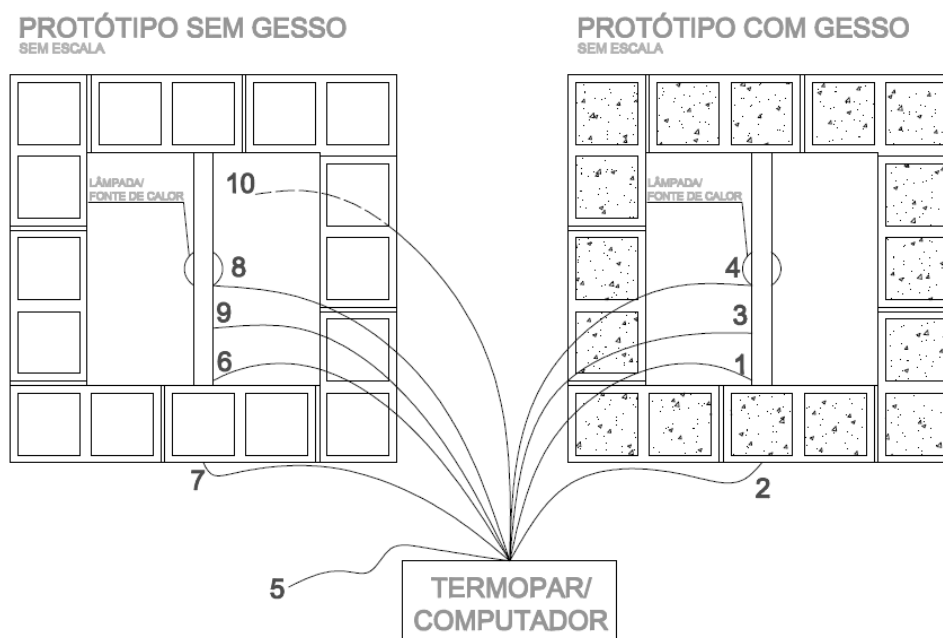


Figura 15 - Localização dos canais de leitura térmica.

Os sensores de 1 a 4 foram instalados dentro do protótipo com o preenchimento de gesso. O número 1 foi fixado na face interna de uma das paredes. O 2 foi fixado na mesma parede e altura, porém na face externa. O sensor 3 foi posicionado na metade do caminho entre a lâmpada e a parede em estudo, enquanto o 4 foi posicionado junto à lâmpada, servindo, fora o registro de temperatura na fonte, como uma forma de verificação se o experimento está ocorrendo bem, pelo fato de o resultado ser lido com uma frequência de segundo em segundo. Isso facilita para se notar se há algo errado com a fonte de calor, tendo em vista que o protótipo fica todo vedado e é impossível ter uma vista de seu interior.

O leitor 5 foi colocado no lado de fora de ambos os protótipos, a uma distância média praticamente igual até ambas. Ele serviu como base de temperatura externa, ou seja, a temperatura ambiente.

Analogamente, os sensores 6 a 9 foram fixados para medir os dados referentes ao protótipo sem enchimento de gesso. Sua numeração foi posicionada conforme as posições do primeiro protótipo. O número 6 no lado interno e o 7 no externo da parede em questão. O sensor 9 entre a parede e a lâmpada e o 8 ao lado dela. O leitor de número dez foi colocado no teto dessa mesma casa, mas pelo lado externo. Assim foi possível medir o calor que “escapava” por essa região.



Figura 16 - Instalações do *software* para medição nos protótipos.



Figura 17 - Detalhe dos canais para leitura das medições.

Os ensaios finais ocorreram no dia 13 de setembro de 2013. Após outros “pré-ensaios” e alguns testes que levaram vários dias, foi possível a realização do experimento com a maior precisão e segurança possíveis. Ele se deu início às 10:00 horas e seguiu durante o dia inteiro. Foi necessário um revezamento de turnos para fazer o acompanhamento das medições.

A todo o momento houve a necessidade de verificar se nenhum dos canais havia parado de funcionar. Também houve a necessidade de acompanhar o correto funcionamento da lâmpada (fonte de calor), por meio dos aparelhos, bem como fiscalizar se nada de anormal ocorreu como alguém danificar algum dos materiais ou até mesmo um inoportuno desligamento da tomada.

Às 18:40 horas (oito horas e quarenta minutos após o começo do experimento), a fonte de calor foi desligada, de forma que pudesse observar também o resfriamento do conjunto, ou seja, a capacidade dos sistemas de perder calor. Assim, a última leitura foi realizada às 22:00 horas (doze horas após o início), já com o sistema praticamente equilibrado na questão de transferência de calor.

4 RESULTADOS

4.1 Blocos de Concreto

4.1.1 Análise dimensional dos blocos de concreto

Foram feitas médias das medidas obtidas das dimensões dos blocos e os resultados dispostos nos Quadros 7, 8 e 9.

	Bloco 1	Variação (mm)	Resultado
Largura (mm)	141,3	1,3	Conforme
Altura (mm)	191,0	1,0	Conforme
Comprimento (mm)	390,3	0,3	Conforme
Espessura da parede (mm)	21,8	6,8	Conforme

Quadro 7 - Resultado da análise dimensional do primeiro bloco de concreto.

	Bloco 2	Variação (mm)	Resultado
Largura (mm)	141,9	1,9	Conforme
Altura (mm)	189,0	-1,0	Conforme
Comprimento (mm)	393,0	3,0	Conforme
Espessura da parede (mm)	23,1	8,1	Conforme

Quadro 8 - Resultado da análise dimensional do segundo bloco de concreto.

	Bloco 3	Variação (mm)	Resultado
Largura (mm)	143,2	3,2	Não Conforme
Altura (mm)	189,0	-1,0	Conforme
Comprimento (mm)	392,0	2,0	Conforme
Espessura da parede (mm)	23,2	8,2	Conforme

Quadro 9 - Resultado da análise dimensional do terceiro bloco de concreto.

Os blocos 1 e 2 apresentaram conformidade de acordo com a ABNT NBR 12118:2010, pois não passaram dos limites estipulados para a variação nas dimensões. O Bloco 3 apresentou variação de dimensão superior ao especificado em norma ($\pm 2\text{mm}$), porém por se tratar de um experimento não estrutural, foi considerado que tal inconformidade não resultaria em erros nas medições.

4.1.2 Características físicas

Através de uma avaliação visual e através do tato foi verificado o atendimento aos requisitos da norma conforme Quadro 10.

Aspecto da superfície, segundo a NBR 12118:2010	Resultado
Deve ser homogêneo e compacto;	Conforme
Devem ter arestas vivas;	Conforme
Não devem apresentar trincas, fraturas, imperfeições ou outros defeitos;	Conforme
Deve apresentar rugosidade	Conforme

Quadro 10 - Resultado da análise de aspecto visual.

Todos os blocos analisados foram aprovados para este quesito, ou seja, apresentaram as características requisitadas pela Norma.

4.1.3 Absorção e área líquida

Com o objetivo de obter o grau de absorção dos blocos e, conseqüentemente, o seu índice de vazios foram feitos ensaios com blocos em

estado úmido e posteriormente em estado seco, conforme prevê a ABNT NBR 12118:2010. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 11. Como parâmetro a ser comparado a absorção de água deve ser menor ou igual a 10%.

	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Bloco 5	Bloco 6
Massa Seca (g)	9486,3	9204,2	9755,3	9537,4	9764,2	9686,5
Massa úmida (g)	10387,0	10126,1	10626,1	10427,4	10635,3	10547,7
Absorção	9,49%	10,02%	8,93%	9,33%	8,92%	8,89%
Resultado	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme	Conforme

Quadro 11 - Resultados da análise de absorção de água.

Todos os blocos analisados foram aprovados para este quesito, inclusive o bloco de número 2 que apresentou uma variação desconsiderável acima dos 10% de absorção de água.

4.1.4 Determinação da resistência à compressão

Para o ensaio de resistência à compressão, foram medidas as cargas de resistência de seis blocos diferentes quanto ao rompimento em seu eixo axial. Feito o capeamento de acordo com a ABNT NBR 12118:2010, foram obtidos os valores obtidos conforme listado no Quadro 12 e no Gráfico 5.

Corpo de Prova	Força (kgf)	Tensão (MPa)
CP 1	19344,77	3,47
CP 2	23158,94	4,16
CP 3	17005,41	3,05
CP 4	17030,86	3,06
CP 5	15536,45	2,79
CP 6	12483,31	2,24
Média	17426,62	3,13
Desvio Padrão	3602,27	0,65

Quadro 12 - Resistência à compressão dos blocos de concreto.

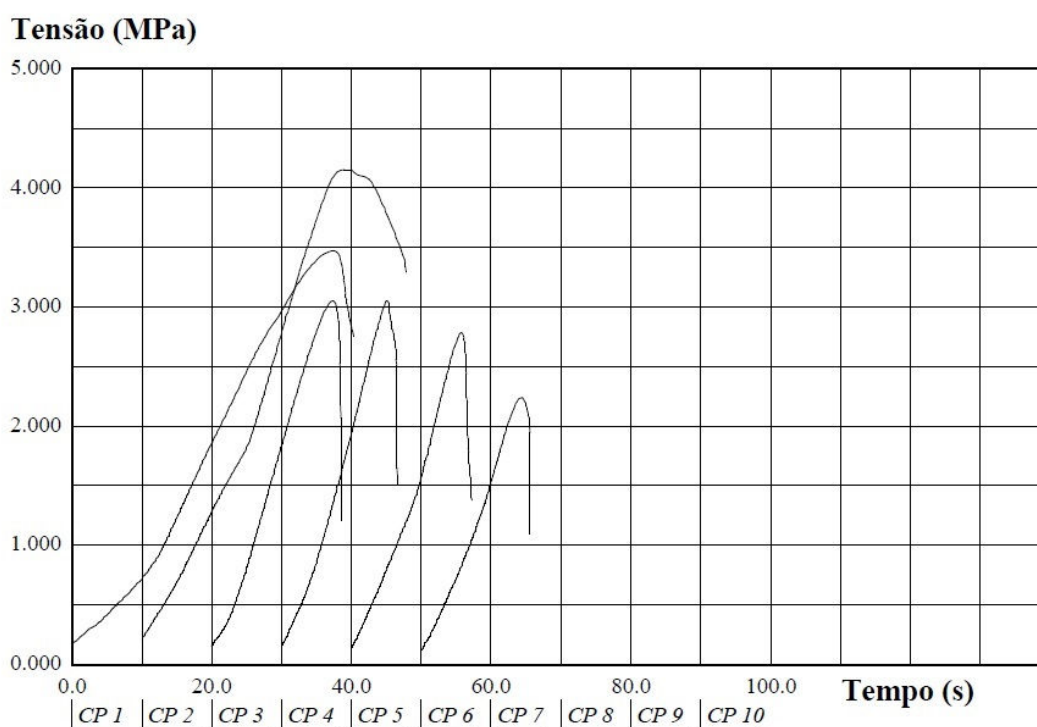


Gráfico 5 - Resultado da análise de compressão simples.

Todos os blocos analisados foram aprovados para este quesito, pois apresentaram resistência acima do mínimo recomendado de 2 MPa. Percebe-se no gráfico que corpo de prova CP2 atingiu uma resistência mais elevada em comparação com os demais, tal fato é aceitável, pois está a favor da segurança. Em

contrapartida o corpo de prova CP6 apresentou uma resistência relativamente baixa em relação aos demais, porém ainda dentro dos limites previstos em norma.

4.2 *Resíduo de gesso*

4.2.1 *Determinação da massa e do volume de resíduo disposto no furo dos blocos de concreto*

Com o objetivo de verificar o acréscimo de carga a ser considerado no cálculo estrutural, devido à inserção do resíduo no interior dos blocos de concreto, o resíduo de gesso passante na peneira 25 mm, ou seja, resíduo com grãos menores ou iguais a 25 mm, foram estudados. Os resíduos foram colocados no interior do bloco até preenchê-lo totalmente, sem qualquer compactação, somente despejando o resíduo de uma altura de 20 cm. Este procedimento foi repetido por 10 vezes, conforme mostra Figura 18. O Quadro 13 apresenta os valores das massas medidas.

	Massa de gesso no interior dos blocos (g)
Medição 1	5572,2
Medição 2	5611,1
Medição 3	5650,4
Medição 4	5696,7
Medição 5	5812,7
Medição 6	5774,8
Medição 7	5847,7
Medição 8	5739,2
Medição 9	5879,1
Medição 10	5889,9
Média	5747,38
Massa do bloco sem o resíduo (g)	10045,9

Quadro 13 - Massa de resíduo do interior dos blocos de concreto.

Pode-se observar que houve uma diferença de aproximadamente 300g entre o maior e menor valor de massa de gesso inserido no interior dos blocos. Tal variação é esperada devida a granulometria do material, uma vez que seu assentamento depende da altura de queda e seu grau de compactação, acarretando em um maior ou menor índice de vazios. Portanto deve-se tratar deste valor de sobrecarga como um valor médio.

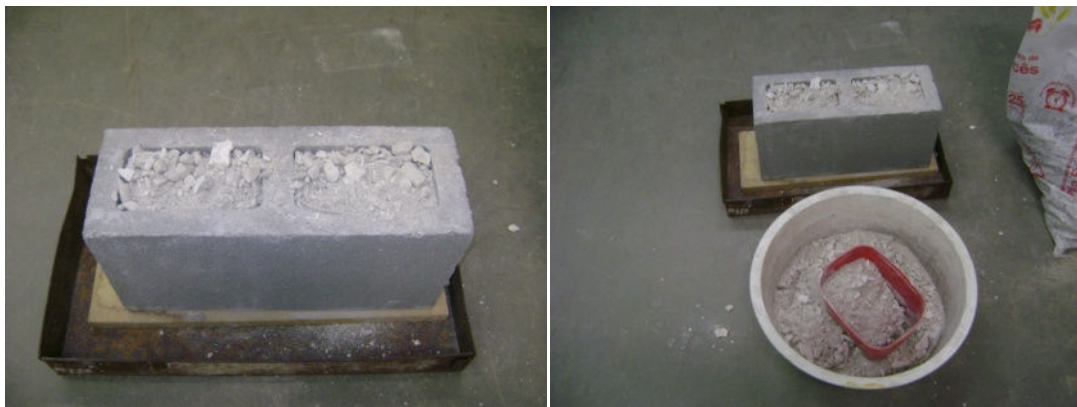


Figura 18 - Medição da massa do resíduo de gesso dos furos dos blocos de concreto.

Considerando uma parede de $1,00\text{m}^2$ de alvenaria construída com este tipo de bloco de concreto, para a qual há a necessidade de assentar 12,5 peças de bloco, tem-se um acréscimo de carga de aproximadamente: 72 kg de resíduo / (m^2 de parede).

Foram feitas as medidas das dimensões dos furos, e como resultado tem-se o Quadro 14.

	fx (cm)	fy (cm)	h (cm)	Volume (cm^3)
	8,72	8,83	9,1	700,68
	8,44	5,82	8,9	437,18
	8,30	5,64	8,9	416,63
Média	8,50	6,80	9,0	520,20

Quadro 14 - Média das medidas e do volume de um furo do bloco de concreto.

Com três medidas obtidas (fx, fy e h) é possível calcular o volume de cada furo, ou seja, o volume de gesso que será inserido em cada bloco. Desta forma, considerando que cada bloco possui dois furos, o volume de resíduo para preencher cada bloco é de: $1040,40\text{ cm}^3$.

E desta forma é possível afirmar que a densidade aparente deste resíduo é dada por:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde ρ é a densidade aparente, m a massa e V o volume.

Chegando a uma densidade aparente de $\rho = 5524\text{kg/m}^3$

De outra forma, pode-se verificar que o volume necessário de resíduo para o preenchimento de uma parede de 1m^2 é de aproximadamente:

$$V_1 = \frac{72\text{kg}/\text{m}^2}{5,524\text{ kg/L}} = 13,03 \frac{\text{litros}}{\text{m}^2} \text{ de parede}$$

4.2.2 Determinação da umidade do resíduo de gesso

Do material moído foi feita uma amostragem separando-se 1300g de resíduo. Esta amostra foi colocada em estufa por 24 horas a $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$. Após a secagem, foi novamente pesada e anotada a massa seca: $m_2 = 1096,4\text{g}$. Desta forma, a relação entre as massas antes e após a secagem imprimiu ao resíduo um teor de umidade dada pela Equação 3:

$$U (\%) = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \quad (\text{Eq. 3})$$

Obteve-se um valor de teor de umidade de 15,69%.

4.3 Construção dos protótipos

4.3.1 Isolamento acústico

Para as primeiras medições, com o auxílio de música eletrônica, foram obtidos os seguintes valores para o ruído equivalente (L_{eq}), num intervalo de tempo de 15 minutos.

Protótipo com bloco + gesso (dB(A))	Protótipo com bloco sem gesso (dB(A))	% variação
68,5	66,4	3,16%

Quadro 15 - Resultado das leituras dos decibelímetros no lado interno dos protótipos.

Como os resultados obtidos foram aproximados (3,16% de variação), houve dúvidas sobre o isolamento da parte superior dos protótipos. Além disso, o som emitido, o de música eletrônica, foi de baixa frequência o que pode ter influenciado neste resultado.

Assim, para melhor analisar essas variáveis, decidiu-se então, fazer uma segunda medição de ruído, porém com algumas modificações. Foi colocada uma tampa de madeira de 4 cm de espessura entre a manta térmica e o isopor, com o objetivo de eliminar o som que porventura pudesse passar pela “cobertura” dos protótipos.



Figura 19 - Tampa de madeira para ajudar no isolamento acústico.

Nesta segunda medição de ruído foi utilizada uma betoneira contendo brita como fonte sonora, buscando também uma frequência mais baixa de ruído – som grave. As configurações dos equipamentos mantiveram-se como antes, apenas tendo que ser ressaltada a nova distância entre a fonte emissora e a fonte receptora. Conforme mostra a Figura 20.

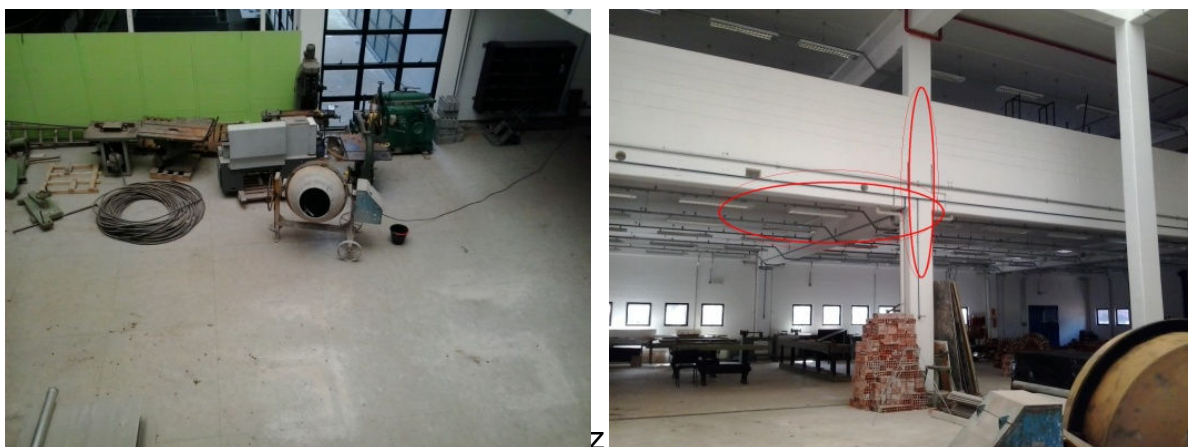


Figura 20 - Betoneira utilizada na segunda medição de ruído.

Antes, porém, do fechamento dos protótipos, foi obtida uma leitura do ruído com a betoneira ligada obtendo-se nível sonoro de 82,7dB(A) dentro do protótipo sem cobertura. Este valor pode ser considerado o mesmo para o lado externo do protótipo. Depois de realizado isso, os equipamentos foram iniciados novamente e

com os protótipos fechados (contendo a tábua) e por duas vezes obteve-se a leitura as quais se encontram no Quadro 16 abaixo:

Protótipo com bloco com gesso (dB(A))	Protótipo com bloco sem gesso (dB(A))	% de variação
62,9	62,4	0,8%
63,5	61,6	3,1%

Quadro 16 – Leitura de ruído (15 minutos) com betoneira ligada.

Uma primeira conclusão é a de que o fechamento superior dos protótipos foi eficiente e o resultado das medições não sofreram interferências da “cobertura”, tendo em vista que ambos os materiais utilizados (EPS e madeira) são bons isolantes acústicos. Além disso, o fechamento estava bem vedado, impossibilitando a entrada de ruído por outros meios.

Observa-se também que os resultados obtidos para ambos os protótipos são muito próximos, tanto para a primeira medição quanto para a segunda. Desta forma, conclui-se que o resíduo de gesso no interior dos blocos não retém o som de forma significativa. Isto se deve ao fato de que o som propaga-se em meio sólido com maior facilidade e, uma vez contendo um meio sólido entre os vazios do bloco, o som se propaga por esse meio conduzindo o ruído para o interior do protótipo. Ou seja, toda a teoria indicando que o gesso é um ótimo isolante acústico acaba afrontando a granulometria utilizada na separação do material. Dessa forma, surge uma comparação “injusta” entre o gesso (sólido) e o ar do vazio dos blocos, uma vez que a propriedade de isolamento acústico do gesso é verificada ao ser comparada com uma parede ou outro anteparo que ele reveste (comparação sólido x sólido).

4.4 Isolamento térmico

O *software* “AQdados” para o leitor Termopar faz as medições com a frequência desejada. Nesse caso, foi utilizada uma medição por segundo. Como o número de dados ficou muito grande, todos os resultados foram filtrados, por meio do próprio programa. Essa filtragem elimina qualquer resultado isolado que tenha se desviado do restante, bem como faz uma média dos resultados, simplificando, mas não retirando a confiabilidade. Dessa forma, foi obtida uma amostra de 10 mil dados apenas.



Figura 21 - Posicionamento dos canais para medição;

Com esses valores e com o auxílio de uma tabela excel, foi possível traçar os gráficos que demonstram como variou a temperatura em cada um dos canais de leitura no decorrer do tempo.

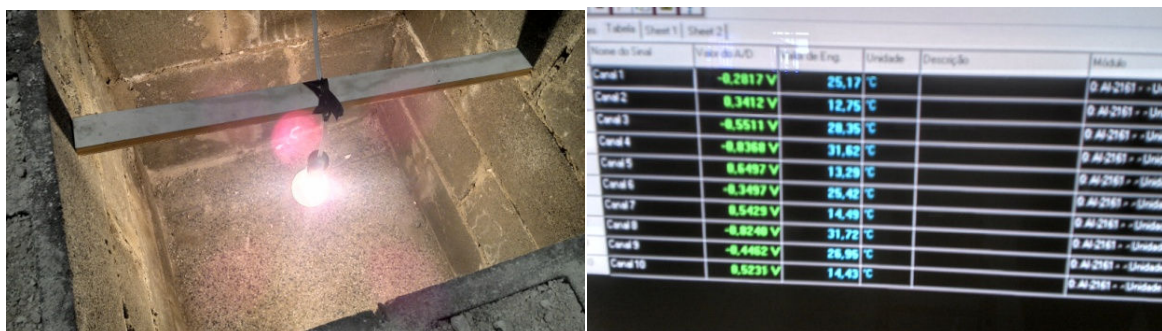


Figura 22 - Realização dos ensaios.

Os Gráficos 6 e 7 apresentam os valores de temperatura, no decorrer das doze horas de ensaios, através dos dez canais instalados conforme apresentado na metodologia.

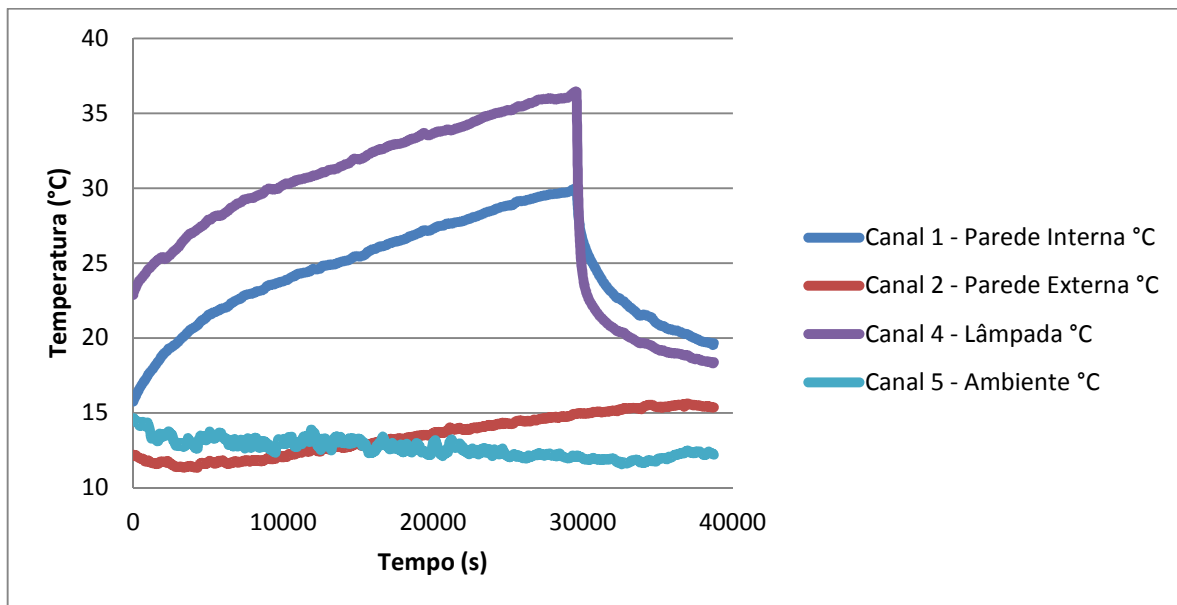


Gráfico 6 - Resultado da medição do ensaio térmico - Protótipo com o enchimento de gesso.

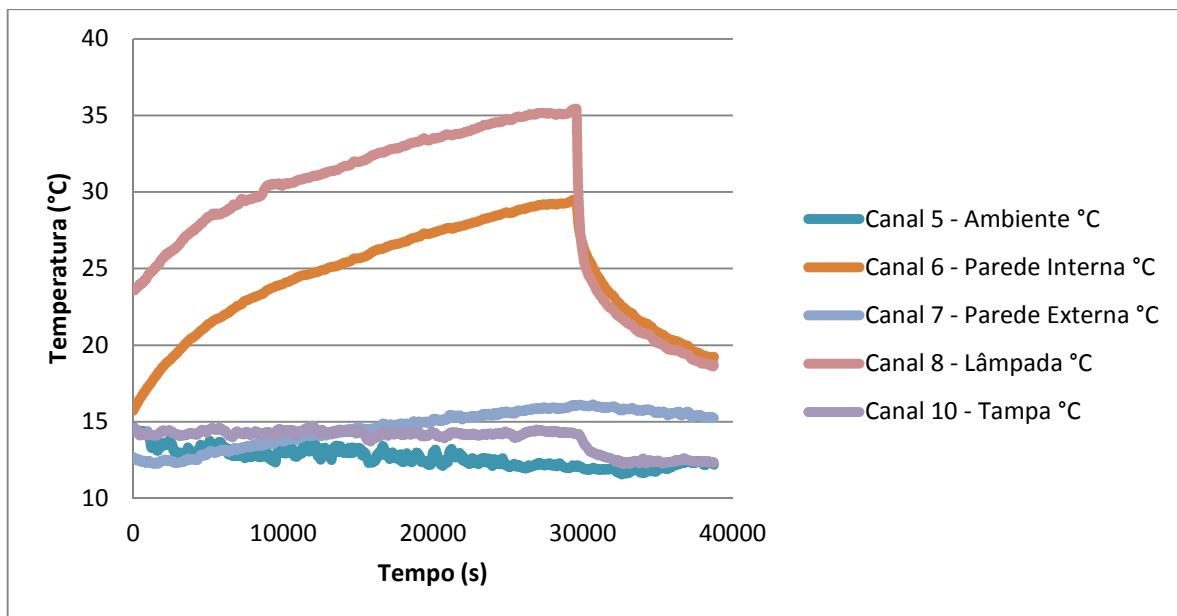


Gráfico 7 - Resultado da medição do ensaio térmico - Protótipo sem o enchimento de gesso.

Nota-se que a temperatura aumentou gradativamente durante aproximadamente os primeiros 30000 segundos de ensaio, principalmente nos

primeiros 10000 segundos, devido ao aquecimento que a lâmpada fornecia no interior dos protótipos. Passando este tempo, a temperatura tendeu-se a se estabilizar diminuindo a sua taxa de variação em relação ao tempo. Após o período de 30000 segundos, no qual houve o desligamento da lâmpada, há uma diminuição abrupta na temperatura. No protótipo com o enchimento com gesso a temperatura na parede externa continuou a subir, enquanto no sem enchimento, a temperatura abaixou junto com a da parede interna.

Para efeito de comparação, fez-se a plotagem dos dados sobrepostos conforme o Gráfico 8.

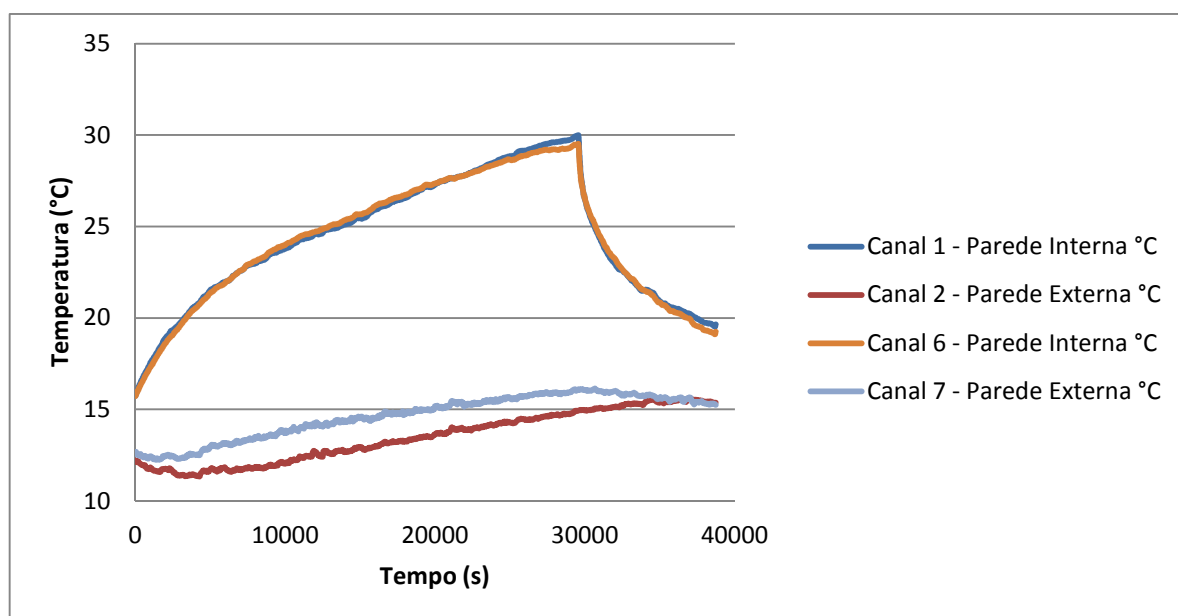


Gráfico 8 - Comparação dos resultados da medição térmica.

Fica evidente no Gráfico 8 a diferença obtida nos leitores das paredes externas em ambos os protótipos. Percebe-se que houve uma maior demora em passar o calor do lado interno para o externo na parede com o revestimento de gesso, devido ao efeito da inércia. Ou seja, o gradiente de temperatura foi menor. Isso significa que a taxa de variação de temperatura por uma certa área em estudo foi menor nesse bloco.

Isso se deve ao fato de o gesso possuir um maior calor específico que o ar (0,260 kcal/kg°C contra 0,240 kcal/kg°C), fazendo com que a capacidade térmica da parede seja maior. Juntamente com as propriedades físicas do gesso, tal anteparo se tornou mais isolante que o outro. De maneira teórica, pode-se dizer que a

condutividade térmica do bloco como um todo diminuiu. O pico de maior diferença entre as temperaturas das paredes externas se encontra com aproximadamente 4 horas de decorrência de ensaio atingindo $1,8^{\circ}\text{C}$ de variação.

Da mesma forma, é possível observar perto dos 30000 segundos (8 horas e 20 minutos) de experimento, quando as lâmpadas são desligadas, e também quando ocorreu o máximo de temperatura nas paredes externas ($16,14^{\circ}\text{C}$ para o protótipo sem gesso e $15,62^{\circ}\text{C}$ para o protótipo com) que o enchimento retarda mais a perda de calor do que sem enchimento. Com sua condutividade térmica menor, fica também mais difícil a perda de calor. Fica visível essa propriedade no ponto de máximo no gráfico do canal 7 assim que houve o desligamento. Enquanto isso, para o gráfico do canal 2 ainda é possível observar um pequeno aumento gradativo e então um decréscimo muito pequeno na temperatura, o qual ocorre visivelmente após o ponto de máximo do gráfico do canal 7.

De forma geral, a análise destes resultados mostra que, para o modelo reduzido em estudo, houve uma melhoria significativa no isolamento térmico, abeirando 10% de redução da temperatura. Provando essas propriedades técnicas, é confirmada a viabilidade do reaproveitamento do resíduo para este fim.

5 CONCLUSÕES

Com um conhecimento básico sobre as condições de produção, reciclagem e reaproveitamento de resíduos sólidos gerados na construção civil dentro do mesmo setor, visou-se obter uma solução lucrativa para tal reutilização.

Evitando os custos diretos de reciclagem, bem como os indiretos (transporte, etc.) e melhorando propriedades de conforto ambiental nas edificações, o presente trabalho tomou uma forma objetiva ao analisar os dados gerados por um teste do uso dessa metodologia para que pudesse ser colocada em prática em construções em escala real.

Esperava-se que o conjunto em estudo (com enchimento de gesso) obtivesse não apenas um isolamento termo-acústico maior que o protótipo sem isolamento, mas que esse nível pudesse fazer com que fosse vantajoso, economicamente, o uso do método em questão em produções de grandes escalas.

Com os resultados obtidos, foi possível observar uma melhora no isolamento térmico do protótipo em questão, que apresentou um menor índice de condutividade térmica. Dessa forma, a taxa de transmissão de calor foi muito menor, tanto no período em que era feito o aquecimento quanto no resfriamento. Ou seja, a temperatura tendeu variar com uma maior dificuldade. Foi possível determinar isso ao analisar os gráficos que comparam as paredes dos dois protótipos: o com enchimento de gesso ficou em média $1,5^{\circ}\text{C}$ abaixo da sem enchimento na fase de aquecimento e demorou mais para resfriar, apresentando um pico máximo de $1,8^{\circ}\text{C}$ de diferença nas paredes externas dos dois protótipos, no momento em que o ensaio havia decorrido 4h. Isso se explica com o fato de as temperaturas terem uma tendência de entrar em equilíbrio a partir deste ponto. Entende-se desta maneira que se o tempo tendesse ao infinito, ambas as paredes externas mediriam a mesma temperatura. Portanto, foi atingido o resultado esperado para o estudo.

Quanto ao isolamento acústico, foi possível observar uma grande similaridade entre os resultados dos dois protótipos. Pelo fato de os decibelímetros terem uma sensibilidade muito elevada, é sempre possível encontrar uma variação para os resultados produzidos por uma mesma fonte. Foi dentro dessa porcentagem

que se chega à conclusão que o protótipo com enchimento não apresentou um isolamento significativamente maior que a sem o gesso. Dentre os fatores considerados por esse comportamento não esperado, destaca-se a escolha da granulometria utilizada nos ensaios. Entende-se que quanto mais espaços vazios existirem entre os grãos de gesso, maior poderia ser o isolamento acústico. Ou seja, uma boa maneira de atingir essa meta seria não limitar apenas a dimensão máxima dos grãos, mas também a mínima. Logicamente, a dimensão máxima poderia ser maior do que a utilizada.

Com as análises e resultados obtidos com o ensaio de isolamento térmico, foi observada a possibilidade técnica de reutilização de resíduos de gesso, pois apresenta uma significativa melhoria em tal propriedade. Com o ensaio de isolamento acústico, por não apresentar uma significativa melhoria, não é viável o enchimento com gesso, dito que esse acarreta em um acréscimo na massa da parede, ocasionando uma sobrecarga que deve ser compensada com elementos estruturais mais resistentes.

Dessa forma, fica sugerida uma forma de melhorar a destinação de tais resíduos da construção civil a fim de possibilitar uma solução positiva para dois dos grandes problemas enfrentados hoje nas edificações: a não reciclagem de grande parte dos materiais da obra e o conforto ambiental.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Proposed Revision to American National Standard. First Public Review Draft. ASHRAE, 2001. 66 p

ARGENTA, A.M; FELIPE, C.; DENK, E.C.; TURNES,M.; MORITZ, R. **Gesso**. Setor de arquitetura e urbanismo - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Florianópolis, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7211/09** Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 1982

_____. **NBR 9778/05** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2005

_____. **NBR 10151/20** Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento, Rio de Janeiro, 2000;

_____. **NBR 10152/87** Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987;

_____. **NBR 11174/90** Armazenamento de Resíduos Classes II – Não Inertes e III - Inertes. Rio de Janeiro, 1990

_____. **NBR 12118/11** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaios, Rio de Janeiro 2011

_____. **NBR 15220-3/05**. Desempenho térmico de edificações - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-1/13**. Edifícios habitacionais de ate cinco pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR NM ISO 3310-2:2010**. Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada (ISO 3310-2:1999, IDT), Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo, ABCP, Boletim Técnico BT-106, 2002, 27p.

ANTUNES, R. P. N. **Estudo da Influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. Dissertação de Mestrado – PCC – USP – São Paulo – SP, 1999.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. **Rochas e Minerais Industriais**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Centro De Tecnologia Mineral, 2005. cap. 21.

BARBOSA, M.J. **Uma Metodologia Para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico de Edificações Residenciais Unifamiliares**. 1997. 277f. Tese (Pós Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. São Paulo, Livros Técnicos e científicos S.A., 1979, 529p.

BERNHOEFT, L. F.; GUSMÃO, A. D.; TAVARES, Y. V.. **Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno**. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n2/a13v11n2.pdf>. Acesso em abril de 2013

BEZERRA, L.A.C.; **Análise do Desempenho Térmico de Sistema Construtivo de Concreto Com EPS Como Agregado Graúdo**. 2003. 50f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

BORGES, A.M; BODZIAK, P.S. **Indicadores de Qualidade ambiental como subsídios à certificação ambiental de obras civis**. Curitiba – PR, 2010

CARR, J.; MUNN, D.A. **Agricultural disposal method of construction site gypsum wallboard waste**. ASC Proceedings of the 33rd Annual Conference. University of Washington - Seattle, Washington. April 2 - 5, 1997 pp 253 – 258

CATAI, R.E.; PENTEADO A.P.; DALBELLO P.F. **Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais Curitiba – PR – 2006

CAVALCANTE, F. B. **Estudo sobre alternativas para gestão dos resíduos de gesso oriundos da construção civil**. Disponível em

http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2011/anais/claudio_felipe_boer_cavalcante.pdf. Acesso em abril de 2013.

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE). **Resolução nº307, de 5 de julho de 2002: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Julho, 2002.

_____. **Resolução nº431, de 24 de maio de 2011: Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso.** Maio, 2011.

DRYWALL. **Resíduos de gesso na construção civil: coleta, armazenagem e destinação para reciclagem.** Mai. 2010. Disponível em: <<http://www.drywall.org.br/biblioteca.php/2/3/dl/44/residuos-de-gesso-na-construcao-civil>> Acesso em: Abril de 2013.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Porto Alegre, p.79, 1999.

DUMKE, E. M. S. **Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da vila tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social.** CEFET-PR, 2002. 230p. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2002.

GIGLIO, T.G.F.. **Avaliação do Desempenho Térmico de Painéis de Vedação em Madeira para o Clima de Londrina,** PR. 2005. Dissertação de Mestrado (mestrado em engenharia de edificações e saneamento). Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

GUSMÃO, A. D. **Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil.** Camaragibe, PE: CSS, 2008.

HERMES, D. V.; **Reutilização dos resíduos de gesso de revestimento: Painéis Decorativos;** Universidade do Oeste de Santa Catarina -UNOESC, Santa Catarina. 2011

HINCAPIÉ HENAO, A. M. **Efeito de substâncias retardadoras de pega nas propriedades do gesso de construção**. São Paulo, 1997. 172 p. Dissertação (Mestrado) (disponível no www.infohab.org.br)

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

_____.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos de construção**. In: Seminário de Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos, CETESB. São Paulo, 2000.

_____.; CINCOTTO, M.A., **Alternativas de gestão dos resíduos de gesso**. PCC – USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo-SP. 2010

KAPP, M.S.V; KAPP, J.S.N. **Os conceitos físicos de temperatura e calor aplicados à conformação mecânica de materiais: uma proposta de abordagem motivadora**; Revista eletrônica de educação e tecnologia do SENAI – SP, São Paulo, Março, 2010.

LOPES, D.R; CATAI, E.R; AGNOLETTO, R.A; MATOSKI, A.; CORDEIRO, A.D. ; MAICH E.G – **Gestão do resíduo industrial por meio da criação de um índice comparativo de ruído ocupacional** – VI Congresso nacional de excelência em gestão – Niterói – RJ, 2010.

LOSSO, M.; VIVEIROS, E. **Gesso Acartonado e Isolamento Acústico: Teoria Versus Prática No Brasil**. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. São Paulo, jul. 2004.

MAMEDE, F. C. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural**. 169f. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

MEDEIROS, J.S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. 449p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: ed. PINI, 1994.573p.

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em**

edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro / Florianópolis, SC, 2011. 232 p.: il., grafs., tabs.

NETO, M.F.F.; BERTOLI, S.R., **Confoto Acústico em edifícios residenciais** - V Congresso Ibérico de Acústica – São Paulo-SP. 2008

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997. 828p.

PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; GONZÁLEZ, R.; MAESTRE, I. R. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v.41, p.272-278. 2009.

PAZ, E.C.; FERREIRA A.M.C.; ZANNIN P.H.T.; **Estudo comparativo da percepção do ruído urbano. Rev. Saúde Pública**, São Paulo, v. 39, n. 3, Junho 2005. Disponível em: < http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102005000300019&lng=en&nrm=iso >. Acesso: 17 Abr. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102005000300019>.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de Cimento Portland** 1998, Editora Globo, Rio de Janeiro – RJ.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189p.

PRATES, C.; FARIA, M. S. **Alvenaria: como projetar a modulação**. Recife, 2003. 4 p. Caderno de Prática Recomendada PR-2. Fascículos colecionáveis. ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Recife, 2003.

RAMALHO, M.A.; CORRÊA M.R.S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural** São Paulo, Pini. 2003.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 336 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SILVA, V. M. da C. **Ruído**. 1998. Monografia de Conclusão do Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho - Departamento de Engenharia de Produção) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1998.

SPOSTO, Rosa Maria; KOMENO, Márcio Hissashi; KRUGER, Eduardo Leite. **Viabilidade energético-econômica de habitações de interesse social em Brasília com uso de blocos de concreto e entulho**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 60, n. 3, set. 2007. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-

TAVARES, P.O, **Aplicação do conceito de sustentabilidade em construções residenciais**. UFMG, 2010.

TAVARES, Y.V. P., et al. **Reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 103-119, jan./mar. 2010