

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LAÍSA CARNEIRO RICHARDT

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE CONCRETOS CONVENCIONAIS,
NÃO CONVENCIONAIS E COMPÓSITOS ESPECIAIS – UMA REVISÃO**

Alegrete

2020

LAÍSA CARNEIRO RICHARDT

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE CONCRETOS CONVENCIONAIS,
NÃO CONVENCIONAIS E COMPÓSITOS ESPECIAIS – UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dra. Simone Dornelles Venquiaruto

Alegrete

2020

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE CONCRETOS CONVENCIONAIS,
NÃO CONVENCIONAIS E COMPÓSITOS ESPECIAIS – UMA REVISÃO**

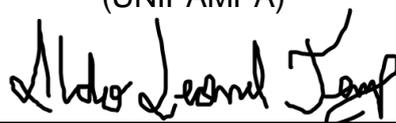
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 03 de dezembro de 2020.

Banca examinadora:



Prof. Dra. Simone Dornelles Venquiaruto
Orientador
(UNIPAMPA)



Prof. Me. Aldo Leonel Temp
(UNIPAMPA)



Prof. Dr. Telmo Egmar Deifeld
(UNIPAMPA)

RESUMO

O setor da engenharia civil tem acompanhado uma crescente demanda por moradias e, paralelamente, uma evolução nos sistemas construtivos e materiais, que tem sido cada vez mais explorados. Para que atendam aos quesitos mínimos de desempenho térmico para edificações é necessário que esses sistemas e materiais atendam às especificações da ABNT NBR 15575:2013 - Desempenho de edificações habitacionais. O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica que abranja de forma diversificada a utilização do concreto em seus diferentes métodos de aplicação e misturas, demonstrando os resultados quanto ao seu desempenho térmico. No primeiro tópico estão os trabalhos que estudaram o concreto convencional nos sistemas de alvenaria convencional e paredes de concreto moldadas no local. No segundo tópico, trabalhos com foco na sustentabilidade, apresentando resultados de estudos que utilizam EPS, rejeitos de mármore e granito e casca e palha de arroz misturados ao concreto. No terceiro tópico estão os estudos com foco em materiais não convencionais, buscando verificação do desempenho térmico em edificações construídas em "*Light Steel Framing*", sendo uma delas com fechamento em Novogesso e a outra com fechamento em gesso acartonado e placas cimentícias. Os resultados desses trabalhos mostraram-se satisfatórios na maioria dos casos, concluindo-se que, tanto o concreto convencional, quanto o concreto com materiais alternativos e o concreto não convencional podem ser aliados ao bom desempenho térmico de edificações.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Norma de desempenho. Concreto convencional. Métodos construtivos. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The civil engineering sector has followed a growing demand for housing and, in parallel, an increase in construction systems and materials, which have been increasingly exploited. In order to meet the minimum requirements of thermal performance for buildings, it is necessary that these systems and materials comply with the specifications of ABNT NBR 15575: 2013 - Performance of residential buildings. The present work aims to present a bibliographic review that covers in a diversified way the use of concrete in its different methods of application and mixtures, demonstrating the results regarding its thermal performance. In the first topic are the works that studied conventional concrete in conventional masonry systems and concrete walls cast-in-place. In the second topic, works focusing on sustainability, presenting results of studies using EPS, marble and granite waste and rice husks and straw mixed with concrete. In the third topic are studies focusing on unconventional materials, seeking to verify the thermal performance in "Light Steel Framing" buildings, one with closure in Novogesso and the other with closure in plasterboard and cementitious slabs. The results of these works were shown to be satisfactory in most cases, concluding that both conventional concrete, as well as concrete with alternative materials and unconventional concrete can be combined with the good thermal performance of buildings.

Keywords: Thermal performance. Performance standard. Conventional concrete. Constructive methods. Sustainability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de zoneamento bioclimático brasileiro	25
Figura 2 - Bloco J – UTFPR-PB	36
Figura 3 - Classificação Climática de Köppen	36
Figura 4 - Variação de Temperatura para o verão	38
Figura 5 - Variação de Temperatura para o inverno.....	40
Figura 6 - Detalhe da planta dos ambientes.....	43
Figura 7 - Fachadas dos edifícios e Data Logger, sendo: (a) Edifício executado em Parede de Concreto moldado do local; e (b) Edifício executado em alvenaria convencional e (c) Modelos de Data Logger utilizados	47
Figura 8 - Gráfico das maiores temperaturas externas registradas.....	48
Figura 9 - Gráfico das menores temperaturas externas registradas	49
Figura 10 - Caixa térmica e fonte de calor radiante e teste de componentes elétricos.....	54
Figura 11 - Equipamento para coleta de dados.....	54
Figura 12 - Temperaturas médias das placas de concreto referência com 0% de espuma de poliestireno expandido.....	55
Figura 13 - Temperaturas médias das placas de concreto com 25% de espuma de poliestireno expandido.....	56
Figura 14 - Temperaturas médias das placas de concreto com 50% de espuma de poliestireno expandido.....	56
Figura 15 - Temperaturas médias das placas de concreto com 75% de espuma de poliestireno expandido	57
Figura 16 - Temperaturas médias das placas de concreto com 00% de espuma de poliestireno expandido	57
Figura 17 - Produção dos concretos: (a) Preparação dos moldes (aplicação do desmoldante) (b) – Amostras em cura à temperatura ambiente, após a concretagem.....	61
Figura 18 - Placa de 250 x 250 x 50 m ³ para ensaio de condutividade térmica .	61
Figura 19 - Equipamento com gradiente linear de temperatura	62
Figura 20 - Análise da condutividade térmica em função da porcentagem de PA	64

Figura 21 - Análise da condutividade térmica em função do comprimento da PA	65
Figura 22 - Superfície de resposta para condutividade térmica	65
Figura 23 - Condutividade térmica	67
Figura 24 - Condutividade térmica X idade e da metodologia de cura	67
Figura 25 - Etapas do processo de fabricação dos blocos com vazios tipo 1. a) Mistura dos materiais, b) Aplicação do compósito no molde, c) Retirada dos canos do molde	70
Figura 26 - Etapas do processo de fabricação do bloco tipo 2 .a) molde preenchido com garrafas, b) molde com blocos e preenchido com garrafas, c) molde com blocos pronto	70
Figura 27 - Bloco tipo 2 já fabricado, destacando-se o tipo de recheio utilizado	71
Figura 28 - Os quatro cômodos já edificadas	71
Figura 29 - Termômetro e termopar utilizados	72
Figura 30 - (a) e (b) Medidor de Stress Térmico utilizado na pesquisa e (c) Radiômetro Instrutherm.....	73
Figura 31 - Planta baixa da casa experimental de placas do novogesso	82
Figura 32 - Detalhe da fundação tipo radier e início da colocação dos perfis metálicos para compor estrutura da parede.....	83
Figura 33 - Detalhe da posição das mantas isolantes termoacústicas e das instalações elétricas nos espaços vazios entre as placas do Novogesso	84
Figura 34 - Detalhe da cobertura; Detalhe das telhas “shingle”	85
Figura 35 - Detalhe das paredes sem acabamento do quarto 2.....	86
Figura 36 - a) Monitoramento da temperatura da sala de estar. b) Monitoramento da temperatura acima da cobertura	87
Figura 37 - Fachada norte da UBS analisada no município de Candeias – MG	89
Figura 38 - Detalhe das juntas de dilatação invisíveis.....	90
Figura 39 - Termo-higrômetro usado nas medições térmicas	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas)	23
Tabela 2 - Análise de desempenho térmico de verão	39
Tabela 3 - Análise de desempenho térmico de inverno	41
Tabela 4 - Coeficiente de variação das temperaturas apresentadas ao longo do dia	47
Tabela 5 - Média das temperaturas apresentadas no gráfico da figura 8	48
Tabela 6 - Média das temperaturas apresentadas no gráfico da figura 9	49
Tabela 7 - Composições dos concretos preparados	53
Tabela 8 - Diferença entre as temperaturas das faces interna e externa (T2 e T3, respectivamente), em °C, para valores de T1 propostos	58
Tabela 9 - Valores absolutos e percentuais determinados para a temperatura na face interna das placas de concreto	58
Tabela 10 - Densidades médias das placas de concreto	59
Tabela 11 - Condutividade térmica dos compósitos	63
Tabela 12 - Coeficiente de correlação de Pearson para condutividade térmica.	63
Tabela 13 - Condutividade térmica dos compósitos	66
Tabela 14 - Composições iniciais	69
Tabela 15 - Resultados de K do compósito estudado	74
Tabela 16 - Médias de temperatura e diferença de temperatura na parede leste e oeste com portas e janelas abertas	76
Tabela 17 - Médias de temperatura e diferença de temperatura nas paredes leste e oeste com portas e janelas fechadas	77
Tabela 18 - Temperatura do interior de cada cômodo configurações fechada e Aberta	78
Tabela 19 - Valores calculados da temperatura efetiva (ST) para todos os Cômodos	79
Tabela 20 - Resumo de propriedades calculadas para os compositos RM e RM/G	80
Tabela 21 - Temperaturas médias mensais dos ambientes da habitação experimental – janeiro a junho, 2006/ 2007	88
Tabela 22 - Temperaturas médias mensais dos ambientes da habitação experimental – julho a dezembro, 2006/ 2007	88

Tabela 23 - Dados das medições térmicas da Área 1 da UBS construída em LSF.....	91
Tabela 24 - Resultados das medições térmicas da Área 2 da UBS construída em LSF.....	92
Tabela 25 - Dados das medições térmicas da Área 3 da UBS construída em LSF.....	93
Tabela 26 - Dados das medições térmicas da área 4 da UBS construída em LSF.....	94
Tabela 27 - Dados das medições térmicas da área 5 da UBS construída em LSF.....	95
Tabela 28 - Dados das medições térmicas da Área 6 da UBS construída em LSF.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e no inverno – NBR 15575 Anexo E.....	26
Quadro 2 - Relação dos trabalhos consultados.....	28
Quadro 3 - Relação dos trabalhos selecionados com foco no desempenho térmico de materiais convencionais	31
Quadro 4 - Relação dos trabalhos selecionados com foco na sustentabilidade	32
Quadro 5 - Relação dos trabalhos selecionados com foco no uso de materiais alternativos	33
Quadro 6 - Modelos Datalogger utilizados no experimento.....	37
Quadro 7 - Resultados da simulação do software Energy Plus. Onde: M – Temperatura interna máxima $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$; I – Temperatura interna máxima $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$; S -- Temperatura interna máxima $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$	45
Quadro 8 - Resultados de desempenho térmico das pesquisas selecionadas de acordo com as recomendações normativas da NBR 15575:2013.....	51
Quadro 9 - Resultados de desempenho térmico das pesquisas selecionadas de acordo com as recomendações normativas da NBR 15575:2013.....	80
Quadro 10 - Resultados de desempenho térmico das pesquisas selecionadas de acordo com as recomendações normativas da NBR 15575:2013.....	97

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	12
1.1 - Objetivos	14
1.1.1 - Objetivo Geral	14
1.1.2 - Objetivos Específicos	15
1.2 - Justificativa	15
1.3 - Estrutura do Trabalho	16
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 - Propriedades Térmicas	17
2.1.1 - Conceitos Básicos	17
2.1.1.1 - Condução	17
2.1.1.2 - Convecção	19
2.1.1.3 - Radiação	20
2.1.1.4 - Transmitância Térmica	21
2.1.1.5 - Resistência Térmica	21
2.1.1.6 - Absortância Solar	22
2.2 - ABNT NBR 15575:2013 - Desempenho de edificações habitacionais	23
2.2.1 - Método para coleta de dados	23
2.2.2 - Parâmetros de verificação dos resultados térmicos	24
2.3 - Desempenho térmico das edificações	26
3 - METODOLOGIA	28
3.1 - Levantamento dos trabalhos por meio de plataformas digitais	28
3.2 - Seleção dos trabalhos	30
3.2.1 - Trabalhos com foco no desempenho térmico de materiais Convencionais	31
3.2.2 - Trabalhos com foco na sustentabilidade	32
3.2.3 - Trabalhos com foco no uso de materiais alternativos visando a melhoria do desempenho térmico	33
4 - RESULTADOS	35
4.1 - Trabalhos com foco no desempenho térmico de materiais Convencionais	35

4.1.1 - Análise do desempenho térmico, lumínico e acústico: Estudo do Bloco J da UTFPR, Campus de Pato Branco	35
4.1.2 - Análise de desempenho termoacústico do sistema construtivo de paredes de concreto	42
4.1.3 - Comparativo térmico e acústico entre os métodos construtivos, alvenaria convencional e parede de concreto moldada no local.....	46
4.1.4 - Conclusões sobre os Trabalhos com Foco na Análise do Desempenho Térmico de Materiais Convencionais	51
4.2 - Trabalhos com foco na sustentabilidade.....	52
4.2.1 - Resistência, densidade e desempenho termoacústico do concreto com espuma de poliestireno (EPS) aplicado às construções.....	52
4.2.2 - Desempenho térmico-acústico-mecânico-durabilidade de compósitos de matriz cimentícia com reduzida massa específica reforçados por casca e palha de arroz.....	60
4.2.3 - Caracterização mecânica, térmica e acústica de um compósito que utiliza rejeitos de mármore, granito, EPS para a fabricação de blocos para a construção civil	68
4.2.4 - Conclusões sobre os trabalhos com foco na sustentabilidade.....	80
4.3 - Trabalhos com foco no uso de materiais alternativos visando a melhoria do desempenho térmico	82
4.3.1 - Conforto termoacústico de uma habitação de baixo custo	82
4.3.2 - Desempenho termoacústico de uma unidade básica de saúde construída em light steel framing	89
4.3.3 - Conclusões sobre os trabalhos com foco em materiais alternativos	97
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
REFERÊNCIAS.....	99

1. INTRODUÇÃO

Desde o seu surgimento, o concreto tem sido um material amplamente utilizado ao redor do mundo, tornando-se cada vez mais presente na construção civil, substituindo grande parte dos sistemas construtivos anteriormente utilizados. É a partir do final do século XVIII, com o advento da Revolução Industrial, que a produção do cimento ganha novo impulso. Segundo Brandão (2018), mais especificamente quando os cientistas europeus se empenharam em descobrir a fórmula perfeita para se obter o ainda pouco desenvolvido cimento hidráulico, que potencializou a produção mundial de concreto.

Atualmente, estima-se que o consumo de concreto gire em torno de 11 bilhões de toneladas ao ano, o que resulta em um consumo médio de aproximadamente 1,9 toneladas de concreto por habitante, valor inferior apenas ao consumo de água, segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP) (SCHIMELFENIG *et al.*, 2017).

Essa grande utilização do concreto vem sendo aplicada de diversas formas (construção de edifícios, prédios públicos, projetos de habitação social) e em diferentes sistemas construtivos, que foram sendo criados conforme a tecnologia foi se desenvolvendo. Apesar do avanço tecnológico e do surgimento de novos materiais e tecnologias, em geral, não há uma preocupação do setor construtivo em avaliar o comportamento térmico destes novos produtos, principalmente no que se refere ao desempenho mínimo de conforto para edificações.

Segundo Sandra (2015 *apud* CBIC, 2013), as edificações evoluíram no decorrer do tempo, sendo que novos materiais, mais leves e esbeltos, foram introduzidos na construção civil. Esses materiais reduziram a carga nas estruturas e também as espessuras das alvenarias, trazendo para a obra uma economia, porém com essas mudanças, o desempenho térmico e acústico decresceu, estando uma vez encerrada a obra, as alternativas para eliminar os desconfortos diminuem e as medidas para minimização dos mesmos serão apenas paliativas.

A publicação da ABNT NBR 15575, norma que estabelece requisitos mínimos de desempenho, vida útil e garantia para os principais sistemas que compõe as edificações Brasileiras, busca definir os padrões mínimos necessários. A norma citada teve sua primeira versão publicada pela ABNT em 2008, como resultado da preocupação expressa da população com o conforto de suas edificações, a mesma

foi revisada em 2010, 2012, tendo uma última revisão em 2013, que entrou em vigor a partir de 19 de julho.

A necessidade de provisão de um número cada vez maior de habitações tem gerado, por sua vez, a busca de novos sistemas construtivos que se estabelecem ao lado dos processos tradicionais, com o objetivo de reduzir custos (SANTOS, 1995). Apesar da redução de custo e utilização de materiais alternativos ao concreto tradicional, é importante garantir o cumprimento das normas de desempenho no que tange o conforto térmico. Vinagre (2013) classifica o conforto térmico como a sensação que indica o grau de satisfação do indivíduo com o ambiente em que está inserido. Já Frota e Schiffer (2001) afirmam que as características e os materiais construtivos da edificação irão determinar o desempenho térmico. A norma de desempenho técnico (ASSOCIAÇÃO..., 2005) NBR 15575:2013 apresenta métodos de avaliação de desempenho térmico de uma edificação tanto na fase de projeto, quanto após a construção.

O desempenho das edificações brasileiras, assim como seus constituintes, tem sido tema de debates realizados por especialistas nas áreas de construção civil e afins há tempo, tendo um enfoque a partir de meados de 2002, quando houve a primeira tentativa de gerar uma norma que contivesse parâmetros avaliativos adequados à realidade brasileira (ARAÚJO *et al.* 2012).

Buscando verificar o cumprimento dos requisitos mínimos da norma, autores como Silva (2016) e Machado e Gomes (2019) estudaram o concreto convencional em diferentes sistemas construtivos.

Alguns autores, como Wolff (2008) e Correia (2009) buscaram alternativas de concretos não convencionais, com a utilização de materiais alternativos, para testar concretos que pudessem apresentar um bom desempenho térmico. A escolha dos materiais utilizados pode ser dividida em duas linhas de pesquisa, a linha ambiental, em que são utilizados resíduos ou materiais de grande oferta na região e a linha científica, em que são utilizados materiais apenas com a finalidade de melhorar o desempenho do concreto.

A indústria da construção civil consome uma grande quantidade de recursos naturais e os impactos ambientais do setor da construção vão desde o consumo energético de 40%, ao consumo de matérias primas de 50%, e esses impactos evidenciam a necessidade da criação e utilização de materiais que gerem menor impacto ecológico e energético (HERRERA, 2013). Com este enfoque, autores como

Santos, N.R. (2014) e Ribeiro, U.G. (2016) buscaram pesquisar materiais alternativos como rejeitos de mármore e granito e rejeitos da indústria madeireira, materiais de grande oferta na região, avaliando seu desempenho térmico e acústico.

Outros autores ainda, como Correia, C.M.P. (2009) e Rodrigues, D.L.S. (2015) pesquisaram materiais alternativos como placas de Novogesso e sistema “Light Steel Framing”, buscando apenas melhorar os níveis de desempenho térmico e acústico do concreto.

A compilação de informações sobre o desempenho térmico de materiais cimentícios e, ou alternativos utilizados na construção civil em diferentes regiões do país e em distintas aplicações são um passo interessante para um melhor entendimento sobre o tema.

É sabido que em habitações o **desempenho térmico** é um fator **importante**, o qual depende diretamente dos materiais, do sistema construtivo, da região onde a edificação estiver inserida, entre outros fatores. É de consenso geral que uma **edificação** bem projetada, além de economizar energia, torna-se confortável para os seus usuários. Então, a questão da pesquisa que se pretende responder é: “as técnicas e os materiais que estão sendo utilizados em distintas regiões brasileiras estão apresentando um desempenho térmico satisfatório para que seja alcançado o conforto térmico do ambiente de acordo com os padrões normativos (ABNT NBR 15575:2013) vigentes no país?”.

Em função do exposto, o presente trabalho realizará uma revisão bibliográfica de alguns trabalhos científicos, buscando apresentar resultados comparativos do desempenho térmico entre as diversas técnicas utilizadas (concretos convencionais, não convencionais e compósitos especiais) pelos autores consultados.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Fazer um resumo de trabalhos científicos que tratam do desempenho térmico de concretos na sua forma convencional, de concretos produzidos com a utilização de materiais alternativos e de diferentes sistemas construtivos, buscando apresentar os resultados de acordo com os parâmetros da norma NBR 15575:2013.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os critérios da norma NBR 15575:2013 para o desempenho térmico de edificações.
- Fazer um resumo de trabalhos que utilizam concreto convencional como objeto de estudo, visando verificação de desempenho térmico.
- Fazer um resumo de trabalhos que utilizam materiais sustentáveis aplicados ao concreto, visando verificação de desempenho térmico.
- Fazer um resumo de trabalhos que utilizam materiais alternativos, visando verificação de desempenho térmico.
- Apresentar os resultados do desempenho térmico obtidos nos trabalhos, objetivando uma comparação com os parâmetros exigidos na norma NBR 15575:2013.

1.2 Justificativa

O bom desempenho de uma edificação está ligado ao atendimento as necessidades humanas, e podem ser divididas nos seguintes requisitos: desempenho térmico e acústico, segurança estrutura, segurança contra incêndio, desempenho lumínico, entre outros. (POSSAN E DEMOLINER, 2015).

Em 2013 entrou em vigor a NBR 15575 (ABNT, 2013), que estabelece padrões no que se refere à eficiência das edificações e inicia um novo ciclo na construção civil brasileira, definindo parâmetros para que sistemas construtivos já utilizados mundialmente sejam adaptados à realidade brasileira. (CBIC, 2013).

A partir deste momento, nota-se então um crescimento da preocupação com o desempenho mínimo das edificações e uma busca constante por materiais e técnicas alternativas que visem atingir os parâmetros exigidos pela legislação.

Em contrapartida, a grande demanda atual por novas edificações, evidenciada pelo grande crescimento dos centros urbanos e pelos dados informados pelo Ministério das Cidades (2017), que aponta um déficit de 6,068 milhões de moradias no Brasil no ano de 2014, gera um baixo controle de qualidade nas novas edificações, bem como a utilização de mão de obra pouco qualificada, além de um baixo controle na dosagem dos materiais utilizados.

Tendo em vista a importância do bem-estar e do conforto, requisitos básicos para que a edificação atinja plenamente seu objetivo, torna-se essencial a utilização

de materiais que atendam aos critérios mínimos de desempenho termo acústico estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Inúmeros trabalhos têm testado o desempenho térmico de edificações. Alguns, como Silva, F.H. (2016) e Machado, G.O e Gomes, M.H.A(2019) tiveram como objetivo apenas testar se os sistemas de blocos ou concreto estrutural atendem os padrões exigidos. Outros, como Amorim, P.G.R (2014) e Cunha, P.W.S. (2012) possuem motivação ambiental, pautados no conceito da sustentabilidade, onde os autores tiveram a oportunidade de aliar meio ambiente ao desempenho térmico. Outros, ainda, pesquisaram materiais alternativos com foco apenas na melhoria de desempenho térmico, como Rodrigues, D.L.S (2015).

1.3 Estrutura do Trabalho

A pesquisa está estruturada em 3 etapas distintas (Etapa-1; Etapa-2 e Etapa-3), apresentadas na sequência.

Etapa 1 – Revisão Bibliográfica que tratará dos conceitos de Propriedade Térmica, dos conceitos da norma ABNT NBR 15575:2013 e Desempenho Térmico das Edificações.

Etapa 2 – Apresentação da Metodologia utilizada. Neste tópico serão apresentados os trabalhos escolhidos e a motivação por trás da pesquisa.

Etapa 3 – Apresentação dos resultados dos trabalhos selecionados e conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Propriedades Térmicas

Os itens 2.1.1 a 2.1.1.6 apresentam alguns conceitos básicos relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa.

2.1.1 Conceitos Básicos

As propriedades térmicas são observadas quando o calor é fornecido ou removido do material. As propriedades térmicas segundo Lima e Trevisan (2007) mais usuais na engenharia civil são: capacidade térmica, expansão térmica e condutividade térmica.

A capacidade térmica é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade de temperatura de um sistema em $\text{KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$, calculada conforme ABNT NBR 15220-2:2005. Esta consiste no quociente entre a quantidade de calor fornecida a um corpo e a correspondente variação de temperatura, medida na prática em joule ou kelvin. Em termos práticos, é uma medição da energia térmica que precisamos adicionar ou retirar do sistema para modificar a sua temperatura.

Segundo Young e Freedman (2008), o conhecimento da expansão térmica (variação do volume com a variação de temperatura) entre -40 e 100°C , é de grande importância no estudo dos materiais, é também conhecida como a dilatação ou contração de um sólido quando submetido a um gradiente de temperatura.

A condutividade térmica é a propriedade do material que determina o fluxo de calor por condução que atravessa, na unidade de tempo, através de uma espessura unitária e de uma unidade de área do material, através de um gradiente de temperatura (SACHT et.al, 2010 *apud* GIOVANI, 1976).

2.1.1.1 Condução

A transferência de calor por condução pode ser definida como a transferência de energia sem grande movimento de massa, devido à diferença de temperatura num ou entre dois sistemas em contato, sempre no sentido da fonte elevada para a região de baixa temperatura, por meio de vibrações das moléculas ocasionando transmissão de energias entre elas (PAULA, 2002).

Em elementos sólidos a passagem de calor ocorre por condução (LIMA e TREVISAN, 2007). Quando uma molécula começa a vibrar com mais intensidade, ela

pode "transmitir" parte desta vibração para as moléculas que estão ao seu redor. Sendo assim ela transfere parte da sua energia diretamente para as moléculas vizinhas. O calor é transferido por condução através do material até alcançar a extremidade mais fria (YOUNG; FREEDMAN, 2008).

Bezerra (2003,) descreve a Lei de Fourier da seguinte forma: “a taxa de fluxo de calor por condução, em uma dada direção, é proporcional à área normal à direção do fluxo e ao gradiente de temperatura naquela direção”. No caso de parede planas a Lei de Fourier pode ser expressa matematicamente, de forma simplificada, como:

$$Q_{cond} = \frac{A \cdot K(T_1 - T_2)}{L}$$

Em que:

Q_{cond} = taxa de fluxo de calor transferido por condução (W);

k = condutividade térmica do material ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$);

A = área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m^2);

T_1 = temperatura da superfície 1 (K);

T_2 = temperatura da superfície 2 (K);

L = distância entre as superfícies 1 e 2 (m).

Num sistema construtivo, o coeficiente de condutividade térmica (k) depende, principalmente, do material, de sua espessura e da diferença de temperatura entre suas faces. Nos materiais compostos, k também é função das propriedades radiantes das superfícies e da fração de ar aprisionado no interior do material (AKTUSU & SATO *apud* BEZERRA, 2003). Em materiais porosos, k depende da composição, da quantidade de matéria sólida, da distribuição, geometria e dimensões dos poros, do teor de umidade e do tipo de gás aprisionado. Materiais com porosidade celular homogênea exibem melhores características isolantes do que materiais com mesma densidade, mas com células de ar extrudadas, no qual o calor se propaga principalmente por convecção natural (SILVA *apud* BEZERRA, 2003).

Tzou (1995) *apud* Bezerra (2003) concluiu que, mais do que uma propriedade térmica do material poroso, k é uma propriedade estrutural.

Frota (2003) define o termo Coeficiente Global de Transmissão Térmica (K), como parâmetro que engloba as trocas térmicas superficiais (por convecção e

radiação) e as trocas térmicas através do material (por condução). Portanto, englobam as trocas de calor referentes a um determinado material, segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutividade térmica, a posição horizontal ou vertical da lâmina e, ainda, o sentido do fluxo.

2.1.1.2 Convecção

Dentro de ambientes fechados a transferência de calor ocorre por convecção. Como o ar quente tem densidade menor ele sobe, já o ar frio tem propriedade inversa.

De acordo com Incropera & Witt (1998), quando um fluido em repouso é aquecido, o gradiente de temperatura entre suas regiões está associado a um gradiente de densidade que provoca deslocamento da massa do fluido de forma cíclica, originando as chamadas correntes convectivas. Dessa forma, o transporte de calor se processa através do transporte de massa. De outro modo, se o fluido escoar sobre uma superfície sólida, estando ambos a temperaturas distintas, haverá troca de calor entre a superfície e o fluido. Se a agitação ou o escoamento do fluido for feito mecanicamente, então se define como transferência de calor por convecção forçada. Por outro lado, se a movimentação do fluido for originada apenas pela diferença de densidade, tem-se a convecção livre (ou natural). Para calcular a taxa de fluxo de calor trocado por convecção utiliza-se a equação a seguir:

$$Q_{\text{conv}} = Ah(T_1 - T_2)$$

Em que:

Q_{conv} = taxa de fluxo de calor transferido por convecção (W);

A = área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m^2);

H = coeficiente médio de transferência convecção ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)

T_1 = temperatura da superfície (K)

T_2 = temperatura do fluido circulante

Segundo Kreith (2003), a convecção é um processo de transporte de energia que combina a condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura.

Kreith & Bohn (2003) descrevem assim o processo de transmissão de calor

por convecção: o calor flui por condução, da superfície para as partículas adjacentes de fluido. A energia assim transferida servirá para aumentar a temperatura e a energia interna dessas partículas fluidas, em seguida estas partículas fluidas se moverão para uma região de menor temperatura no fluido, onde se misturarão e transferirão uma parte de sua energia para outras partículas fluidas. O fluxo, neste caso, é tanto de fluido como de energia. A energia é, na realidade, armazenada nas partículas fluidas e transportada como resultado do movimento de massa destas.

Croiset (1972) *apud* Frota (2003) sugere alguns valores para o coeficiente de troca térmica por convecção (h), no caso de convecção natural:

- Para superfície horizontal, fluxo descendente: $h = 1,2 \text{ W.m}^{-1}\text{°C}^{-1}$;
- Para superfície vertical: $h = 4,7 \text{ W.m}^{-2}\text{°C}^{-1}$;
- Para superfície horizontal, fluxo ascendente: $h = 7,0 \text{ W.m}^{-2}\text{°C}^{-1}$.

2.1.1.3 Radiação

Segundo Young e Freedman (2008), radiação é a transferência de calor por meio de onda eletromagnética. Qualquer corpo, mesmo que esteja a uma temperatura normal, emite energia sob a forma de radiação eletromagnética. A taxa de radiação de energia de uma superfície é proporcional a sua área.

A radiação térmica emitida por toda matéria com temperatura acima de 0 K é uma forma de transmissão de calor que não necessita de um meio material para propagação, pois a energia é transmitida na forma de ondas eletromagnéticas (ou ainda, na forma de fótons). Dessa forma, todos os corpos em presença uns dos outros e que se apresentam a diferentes temperaturas, trocam calor por radiação e o fluxo de calor se traduz como sendo a taxa líquida de energia que é trocada entre os corpos. A equação a seguir descreve o fenômeno, matematicamente (INCROPERA & WITT, 1998).

$$Q_{\text{rad}} = A_1 \delta \epsilon_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

Em que:

Q_{rad} = taxa de fluxo de calor radiante (W);

A_1 = área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m^2);

σ = constante da radiação de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$);

ϵ_1 = fator de emissividade da superfície (adimensional); T_1 = temperatura da superfície 1 (K);

T_2 = temperatura da superfície 2 (K).

A emissividade fornece uma medida da capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação à medida de um corpo negro (radiador ideal). Com valores que se encontram na faixa de $0 < \epsilon \leq 1$, a emissividade depende fortemente do material da superfície e do seu acabamento (BEZERRA, 2003). A energia transmitida dessa forma é chamada de calor radiante (KREITH & BOHN, 2003).

O calor radiante é emitido por um corpo na forma de impulsos ou quanta de energia. O movimento de energia radiante do espaço é semelhante à propagação da luz, e pode ser descrito pela teoria de ondas. Quando as ondas de radiação encontram algum outro objeto, sua energia é absorvida próximo à superfície. A transmissão de calor por meio de radiação torna-se de importância crescente quando a temperatura de um objeto aumenta. Nos problemas de Engenharia envolvendo temperaturas que se aproximam da atmosférica, o aquecimento radiante freqüentemente pode ser desprezado (KREITH & BOHN, 2003).

2.1.1.4 Transmitância Térmica

Segundo a ABNT NBR 15220-2:2005, transmitância térmica é quanto de radiação atravessa um elemento em relação ao quanto de radiação que incidiu. É a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor. É dada por $W/(m^2.K)$.

Em outra definição "Transmitância térmica é a transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo, induzidos pela diferença de temperatura entre dois ambientes." (SANDRA, 2015 *apud* CBIC, 2013, p. 37).

Na NBR 15220 parte 3 está descrito que a transmitância térmica de componentes, de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total.

2.1.1.5 Resistência Térmica

A resistência térmica (R) é a capacidade dos materiais em "reter" calor. Quanto maior o valor de "R", melhor será o desempenho térmico do material. (ABNT NBR 15220- 1:2005).

Fisicamente, a resistência térmica traduz-se como a maior ou menor facilidade com que se dá o fluxo de calor em determinada direção. No caso de

uma parede plana, a resistência térmica depende da geometria do material e de sua condutividade térmica (KREITH & BOHN, 2003), definida pela equação tem-se:

$$R_t = \frac{L}{k} \cdot A$$

Em que:

R_t = resistência térmica (K/W);

L = espessura da parede(m);

k = condutividade térmica do material (W/m.K); A = área perpendicular ao fluxo de calor (m²).

De acordo com BEZERRA (2003), analisando-se as equações que descrevem os fenômenos da difusividade térmica e da resistência térmica, pode-se constatar a possibilidade de redução da taxa de transferência de calor através de fechamentos opacos, se esses forem construídos com materiais de baixa condutividade térmica, pois resultarão na redução da difusividade térmica e elevação da resistência térmica.

2.1.1.6 Absortância Solar

Conforme (ABNT NBR 15220-1:2005) absortância à radiação solar é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Absortância solar também pode ser conceituada como uma propriedade do material referente a parcela da radiação absorvida pelo mesmo, geralmente relacionada a cor. A ABNT NBR 15220-2:2005 apresenta, no anexo B, uma lista de absortâncias para algumas cores e materiais, listada na Tabela 1.

Tabela 1 - Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas)

Tipo de superfície	α
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)	0,25
Caiação nova	0,12 / 0,15
Concreto aparente	0,65 / 0,80
Telha de barro	0,75 / 0,80
Tijolo aparente	0,65 / 0,80
Reboco claro	0,30 / 0,50
Revestimento asfáltico	0,85 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25
Vidro colorido	0,40 / 0,80
Vidro metalizado	0,35 / 0,80
Pintura:	
Branca	0,20
Amarela	0,30
Verde clara	0,40
Alumínio	0,40
Verde escura	0,70
Vermelha	0,74
Preta	0,97

Fonte: ABNT NBR 15220,2005.

2.2 ABNT NBR 15575:2013 - Desempenho de edificações habitacionais

A ABNT NBR 15220:2005 - Desempenho de edificações habitacionais, é um importante documento quando se refere ao desempenho térmico de edificações, pois é a partir dela que se obtém as informações necessárias para verificação dos resultados de estudos referentes ao tema.

Na norma estão descritos os métodos utilizados para a coleta dos dados da edificação e em seguida estão apresentados os parâmetros que devem ser atendidos, como está descrito nos itens a seguir:

2.2.1 Métodos para coleta de dados

- **Procedimento 1 A** – Simplificado, averiguar o atendimento aos requisitos e critérios

para envelopamento da obra, baseando na transmitância térmica e capacidade térmica das paredes de fachada e das coberturas (Normativo).

- **Procedimento 1 B** – Simulação pelo *software Energy Plus* (*Software* de simulação desenvolvido pelo Departamento de Energia do Governo Federal dos Estados Unidos da América, distribuído gratuitamente), para as situações em que os valores obtidos para a transmitância térmica e ou capacidade térmica se façam indesejáveis em comparação aos critérios e métodos estabelecidos na ABNT NBR 15575-4:2013 diante dessas situações o desempenho térmico global da obra deve ser avaliado pela simulação do *Software Energy Plus* (Normativo).
- **Procedimento 2** – Medição *in loco*, podem ser efetuados habitações ou protótipos que se assemelhem bastante com as condições reais, deve se assegurar que o sombreamento e a ventilação não alterem os reais resultados, este procedimento indica a verificação aos requisitos e critérios estabelecidos na ABNT NBR 15575:2013, por meio de medições em habitações reais ou protótipos, elaborados com essa função, esse procedimento encontra um sério impedimento, essas medições tem que ser realizadas em períodos que correspondam a dias típicos de inverno ou dias típicos de verão, contendo pelo menos um dia com características parecidas, indicando ainda que se faça as medições com três dias consecutivos e análise dos dados no último dia (Informativo).

2.2.2 Parâmetros de verificação dos resultados térmicos

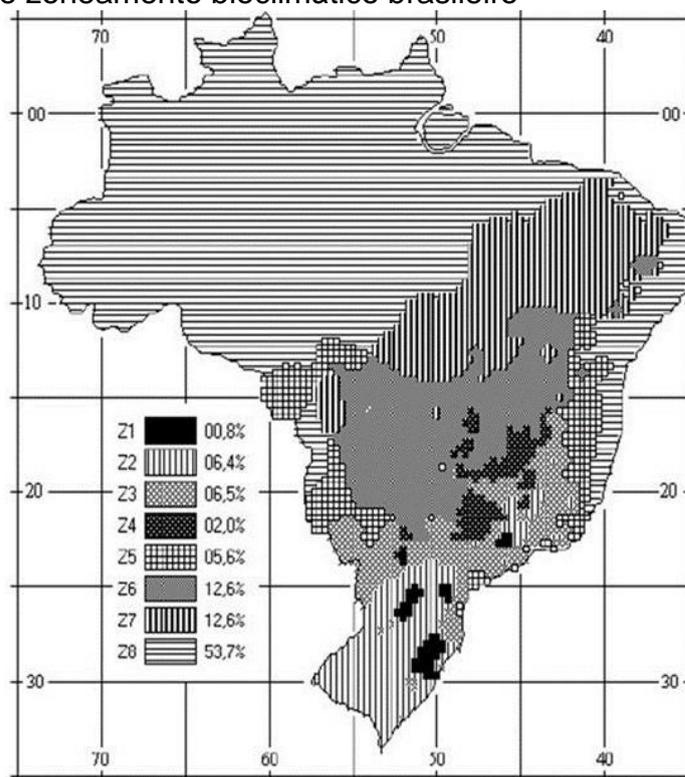
Para a verificação dos dados referentes aos procedimentos 1 A e 1 B, citados no tópico 2.2.1, a norma NBR15575:3013 apresenta anexos ou referencia outras normas, onde estão localizados os dados necessários para uma análise do desempenho térmico da edificação, como o clima na qual está inserida essa edificação.

A norma estabelece um zoneamento bioclimático brasileiro abrangendo um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas a habitações unifamiliares de interesse social, estabelecendo assim, recomendações e diretrizes construtivas sem caráter normativo para adequação climática.

A norma NBR 15575:2013 direciona à norma NBR 15220-3:2005 - Desempenho térmico de edificações, onde está demonstrado que o Brasil possui oito

regiões bioclimáticas, conforme ilustrado na Figura 1. Para cada região dessas, é definido o dia típico de inverno e o dia típico de verão, estabelecido de acordo a temperatura do ar, umidade relativa, radiação incidente, velocidade do vento. Essas zonas abrangem em torno de 200 cidades brasileiras, que servem de base para as cidades menores que não estão listadas.

Figura 1 - Mapa de zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT NBR 15220-3:2005

Além das regiões bioclimáticas presentes na norma NBR 15220-3, na estão apresentados os valores de coeficientes para materiais e informações que complementem a análise dos dados, buscando resultados de forma normativa.

Quando se trata de resultados obtidos através do procedimento 2, citado no item 2.2.1, a norma norma NBR 15575 - Edificações habitacionais - Anexo E apresenta os parâmetros mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão e no inverno – NBR 15575 Anexo E

Desempenho térmico no verão	
Nível de desempenho térmico	Diferença de temperatura
Mínimo	Temp. interna \leq Temp externa
Intermediário	Temp. interna \leq Temp externa - 2°C
Superior	Temp. interna \leq Temp externa - 4°C
Desempenho térmico no inverno	
Nível de desempenho térmico	Diferença de temperatura
Mínimo	Temp. interna \geq Temp. externa + 3°C
Intermediário	Temp. interna \geq Temp. externa + 5°C
Superior	Temp. interna \geq Temp. externa + 7°C

T_{i,máx.} é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
T_{e,máx.} é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
T_{i,mín.} é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius.
T_{e,mín.} é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.
NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT NBR 15575

Os valores estabelecidos na norma determinam que, no verão, a temperatura mais quente medida dentro do ambiente durante o dia deve ser comparada com a temperatura externa no mesmo momento. Se ela for menor ou igual à externa, o nível de desempenho térmico é considerado mínimo, se ela apresentar uma diferença de temperatura entre 2°C e 4°C, para menos, o nível é considerado intermediário e caso a temperatura interna for pelo menos 4°C mais baixa, o nível de desempenho térmico da edificação é considerado superior.

No inverno, a norma determina que devem ser comparadas as temperaturas interna e externa no momento do dia em que a temperatura interna registrada foi a mais baixa, utilizando a temperatura externa para este mesmo momento. Se a temperatura interna da edificação estiver 3°C acima da externa, o desempenho é mínimo, se estiver 5°C acima, o nível é intermediário e se a temperatura interna estiver 7°C acima da temperatura externa, o nível de desempenho térmico da edificação é considerado superior.

2.3 Desempenho térmico das edificações

O desempenho térmico das edificações é um fator importante na construção civil. Conforme apresenta a norma NBR 15575:2013, o desempenho térmico de uma edificação depende de vários fatores como, por exemplo, topografia do local da obra, temperatura, umidade do ar, intensidade e direção do vento, tipo de materiais utilizados, número de pavimentos, dimensões dos cômodos, altura do pé direito, entre

outros.

De acordo com Siqueira et.al (2005) a avaliação do desempenho térmico de uma edificação engloba a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo, onde a caracterização das condições climáticas locais é uma das etapas mais importantes. As condições de exposição da edificação ao clima são caracterizadas pelos valores locais horários da radiação solar, da temperatura e umidade relativa do ar e também pela velocidade predominante do vento.

Já o nível de satisfação térmica depende, das atividades a serem desenvolvidas no interior do imóvel, quantidade de mobília, tipo de vestimentas, número de ocupantes, sexo, e condições fisiológicas e psicológicas dos usuários. Desta forma, conforto térmico refere-se a condição média que atende à maior parte das pessoas expostas a uma determinada condição (Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2013).

Esse conjunto de informações compõe a base de dados que determina se a edificação atende ou não aos requisitos de desempenho térmico, podendo ser levantados tanto de forma normativa, quanto de forma informativa.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho está dividida em dois (2) tópicos principais. No tópico 1 está apresentado um levantamento de trabalhos com foco em desempenho térmico de edificações, todos foram resultado de buscas em plataforma digital com finalidade acadêmica, onde foi realizado um levantamento de trabalhos voltados para a Construção Civil e com foco no desempenho térmico de edificações.

O Tópico 2 está dividido em três (3) partes, apresentando uma organização e seleção dos trabalhos levantados na primeira etapa (Tópico I). Cada uma dessas partes corresponde a uma classificação utilizada para a organização desse resumo: Na primeira parte estão os trabalhos que utilizaram concreto convencional (aplicado em um ou mais de um sistemas construtivos). Na segunda parte estão os trabalhos com foco na sustentabilidade (verificando a utilização de materiais reciclados misturados ao concreto). E na terceira, os trabalhos com a utilização de materiais não convencionais (nesse caso o sistema “*Light Steel Frame*” com fechamento em diferentes materiais).

3.1 Levantamento dos trabalhos por meio de plataformas digitais

Os trabalhos inicialmente consultados estão no Quadro 2, que apresenta o levantamento realizado, contabilizando um total de dezenove (19) trabalhos.

Quadro 2: Relação dos trabalhos consultados.

TÍTULO	AUTOR	MATERIAIS UTILIZADOS	PROCEDIMENTO UTILIZADO DE ACORDO COM A NBR 15575
ANÁLISE DAS PROPRIEDADES DE BLOCOS DE CONCRETO LEVE VISANDO O ATENDIMENTO DA NORMA DE DESEMPENHO	Silva, F.H.L. <i>et al.</i> (2016) - Natal - RN	Blocos de concreto com vermiculita expandida e argila expandida.	Informativo: Termômetros introduzidos nas paredes dos blocos, tanto nas partes internas como externas.
ANÁLISE DE DESEMPENHO TERMOACÚSTICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO	Machado, G.O e Gomes, M.H.A. (2019) - Anápolis - GO	Paredes de concreto relacionadas à habitação social.	Normativo: Utilização e entrada de dados conforme dados fornecidos pelo arquivo climático.
ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DO SISTEMA WOOD FRAME NA CONSTRUÇÃO DE UNIDADES UNIFAMILIARES NO BRASIL	Rocha, F.N.A <i>et al.</i> (2016) - Paraíba	Sistema <i>Wood Frame</i> voltado para edificações de pequeno porte.	Normativo: Análise de dados referentes ao clima e aos materiais.

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO, LUMÍNICO E ACÚSTICO: ESTUDO DO BLOCO J DA UTFPR CAMPUS DE PATO BRANCO	Silva, G.J.A e Ferri, R (2018) - Pato Branco - PR	Paredes de alvenaria estrutural.	Informativo: Termômetro a uma altura de 1,2m do chão.
ANÁLISE TÉRMICA E ACÚSTICA DE EDIFICAÇÕES COM PAREDES EM CONCRETO MOLDADAS <i>IN LOCO</i> NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE	Martins, D.L.A e Ferreira, M.D.C (2018) - Caraúbas - RN	Paredes de concreto moldadas <i>in loco</i> .	Informativo: Equipamento KD2PRO para a medição térmica.
DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE PAINÉIS DE FECHAMENTO EM MULTICAMADAS	Ribas, R.A.J (2013) - Goiás - Dados de Belo Horizonte - MG	Painéis com lã de vidro (LVI), placa cimentícia (PLC), gesso acartonado (GEA), pré-moldado de concreto (PMC), concreto celular autoclavado (CCA) e poliestireno expandido (EPS).	Normativo: <i>Software ESP-r (Energy Simulation Program – research)</i> .
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, TÉRMICA E ACÚSTICA DE UM COMPÓSITO QUE UTILIZA REJEITOS DE MÁRMORE, GRANITO E EPS PARA A FABRICAÇÃO DE BLOCOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL	Santos, N.R.G (2014) Natal	Blocos vazios e blocos preenchidos com garrafas <i>PET's</i> de 500 ml, utilizando resíduos de mármore/granito e isopor.	Informativo: Termopares tipo K fixados no centro do Cômodo a 1,5m de altura.
DESEMPENHO TÉRMICO-ACÚSTICO-MECÂNICO DE UM COMPÓSITO DE MATRIZ CIMENTÍCIA LEVE REFORÇADO COM CASCA DE ARROZ	Pachla, E. <i>et al</i> (2019)	Casca e Palha de arroz aplicadas ao concreto.	Informativo: Equipamento da <i>LaserComp</i> , modelo FOX 304.
ESTUDO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO DE ALVENARIAS	Ferreira, S.A. (2015) Formiga	Alvenaria estrutural e alvenaria de vedação.	Normativo: Análise de dados referentes ao clima e aos materiais.
PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS TERMO ACÚSTICOS A BASE DE RESÍDUOS RECICLADOS PROVENIENTES DA CONSTRUÇÃO CIVIL.	Amorim, P.G.R. (2014) Brasília	Painéis tremo acústicos compostos por resíduo lignocelulósico, forro de fibras minerais e lã de rocha.	Informativo: Termômetro digital.
COMPARATIVO TÉRMICO A ACÚSTICO ENTRE OS MÉTODOS CONSTRUTIVOS, ALVENARIA CONVENCIONAL E PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL	Baltokoski, P. L. C. (2015) Paraná	Prédio de alvenaria convencional e prédio em paredes de concreto moldadas no local.	Informativo: Equipamento <i>Data Logger</i> de Temperatura (<i>Onset – Hobo Data Logger temp/RH</i>).
REABILITAÇÃO TÉRMICA E ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS ANTIGOS	Gutierrez, V. N. S. (2015) Lisbia	Edifício em alvenaria de Pedra Calcária (Paredes Externas) e alvenaria de tijolos e pedra calcária (Paredes Internas).	Normativo: Tabelas de cálculo disponibilizadas pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção.
DESEMPENHO TERMO-ACÚSTICO DE UMA UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE	Rodrigues, D.L.S. (2015) Formiga	Modelo construtivo Steel Frame com fechamento em	Informativo: Termo-higrômetro de precisão modelo HT-7020 da marca ICEL.

CONSTRUÍDA EM LIGHT STEEL FRAMING		placa cimentícia e gesso acartonado.	
DESEMPENHO TERMO ACÚSTICO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS: ESTUDO DE FERRAMENTAS APLICÁVEIS A VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE DE HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR SEGUNDO REQUISITOS DA NBR 15.575/2013	Carneiro, P.C.S. e Oiveira, R D. (2020)	Unidade habitacional do programa Minha Casa Minha Vida.	Normativo: Formulações apresentadas na NBR 15220-2/2008 para estimar o desempenho da envoltória e verificar o atendimento aos limites estabelecidos pela NBR 15.575/2013.
RESISTÊNCIA, DENSIDADE E DESEMPENHO TERMOACÚSTICO DO CONCRETO COM ESPUMA DE POLIESTIRENO (EPS) APLICADO ÀS CONSTRUÇÕES	Wolff, P. S. (2008) Paraná	Utilização de EPS em concretos	Informativo: Termopares tipo K em uma caixa simuladora.
AUTOMATIZAÇÃO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES DENTRO DO PROCESSO BIM COM FOCO NA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO, ACÚSTICO E O CUSTO DAS DECISÕES PROJETUAIS	Gonçalves, P.H. (2018) Brasília	Processo BIM.	Normativo: Análise dos dados e da sua compilação no sistema BIM
ESTUDO SOBRE AS POTENCIALIDADES DE COMPÓSITOS À BASE DE GESSO E FIBRAS DE COCO SECO PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	Cunha, P.W.S (2012) Natal	Compósito constituído por matriz de gesso reforçada com mantas de fibras de coco seco.	Informativo: Equipamento da marca ANTER CORPORATION, modelo QUICKLINE TM-30 – THERMAL PROPERTIES ANALYZER.
CONFORTO TERMO – ACÚSTICO DE UMA HABITAÇÃO DE BAIXO CUSTO	Correia, C.M.P. (2009) São Carlos	<i>Light Steel Frame</i> com fechamento em novogesso.	Informativo: Medida através da técnica do fio quente, um método direto, absoluto e não estacionário que é capaz de fornecer medidas num amplo leque de temperaturas.
NORMA DE DESEMPENHO NBR 15575: ESTUDO DAS PRÁTICAS ADOTADAS POR CONSTRUTORAS E DOS IMPACTOS OCORRIDOS NO MERCADO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	Shin, H.B.(2016) Rio de Janeiro	NBR 15575:2013.	Normativo: Análise dos dados e parâmetros da norma NBR 15575

Fonte: Autor, 2020.

3.2 Seleção dos trabalhos

Nos itens 3.2.1 a 3.2.3 serão apresentados os trabalhos selecionados para compor essa monografia. Para uma melhor organização na apresentação dos mesmos, foram utilizados três critérios previamente definidos: trabalhos que utilizaram concreto convencional; trabalhos com foco na sustentabilidade, e trabalhos com a utilização de materiais não convencionais.

3.2.1 Trabalhos com foco no desempenho térmico de materiais convencionais

Entre os três trabalhos escolhidos para compor esse tópico (Quadro 3), duas pesquisas analisaram individualmente a eficiência térmica do material em dois sistemas construtivos distintos (alvenaria convencional e paredes de concreto moldadas no local), e a terceira pesquisa realizou um comparativo da eficiência térmica entre os dois sistemas citados.

A escolha dos trabalhos foi feita de forma a demonstrar resultados acerca de alguns sistemas construtivos mais utilizados no Brasil.

Quadro 3: Relação dos trabalhos selecionados com foco no desempenho térmico de materiais convencionais.

TÍTULO	AUTOR	MATERIAIS UTILIZADOS	PROCEDIMENTO UTILIZADO DE ACORDO COM A NBR 15575
ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO, LUMÍNICO E ACÚSTICO: ESTUDO DO BLOCO J DA UTFPR CAMPUS DE PATO BRANCO	Silva, G.J.A e Ferri, R (2018) - Pato Branco - PR	Paredes de alvenaria estrutural.	Informativo: Termômetro a uma altura de 1,2m do chão.
ANÁLISE DE DESEMPENHO TERMOACÚSTICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO	Machado, G.O e Gomes, M.H.A. (2019) - Anápolis - GO	Paredes de concreto relacionadas à habitação social.	Normativo: Utilização e entrada de dados conforme dados fornecidos pelo arquivo climático.
COMPARATIVO TÉRMICO A ACÚSTICO ENTRE OS MÉTODOS CONSTRUTIVOS, ALVENARIA CONVENCIONAL E PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL	Baltokoski, P. L. C. (2015) Paraná	Prédio de alvenaria convencional e prédio em paredes de concreto moldadas no local.	Informativo: Equipamento <i>Data Logger</i> de Temperatura (Onset – Hobo <i>Data Logger</i> temp/RH).

Fonte: Autor, 2020.

Na pesquisa de SILVA E FERRI (2018), os autores fizeram uma análise do desempenho térmico de uma edificação - bloco J da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), apresentando resultados de desempenho térmico para o sistema de alvenaria convencional (sistema utilizado nessa edificação). Os autores apresentaram uma comparação entre cômodos com diferentes características, demonstrando que não apenas o sistema construtivo determina o desempenho térmico de uma edificação.

MACHADO E GOMES (2019) avaliaram o desempenho térmico de paredes de concreto moldadas no local, trazendo uma metodologia diferente dos demais trabalhos apresentados nesse tópico. Os autores utilizaram um procedimento

normativo, de acordo com o tópico 2.2.1, para coleta de dados, utilizando o *software Energy Plus* para a obtenção de dados térmicos.

BALTOKOSKI (2015) fez um comparativo entre dois sistemas construtivos distintos, comparando o desempenho térmico de paredes em alvenaria convencional com o desempenho térmico de paredes de concreto moldadas no local. O trabalho apresentou resultados interessantes, ao analisar os sistemas construtivos a partir de duas formas de coleta de dados: em um único dia e a longo prazo, sendo que a segunda forma de coleta de dados garantiu uma análise mais completa dos sistemas estudados, segundo o autor.

3.2.2 Trabalhos com foco na sustentabilidade

Para este tópico foram selecionados trabalhos que utilizaram materiais de descarte da própria região onde a pesquisa foi desenvolvida, verificando a viabilidade de utilização desses em matrizes cimentícias na busca de um bom desempenho térmico de edificações. Os trabalhos selecionados, apresentados no Quadro 4, testaram o desempenho térmicos de compósitos cimentícios com a incorporação de resíduos de EPS, casca e palha de arroz, mármore, granito e isopor.

Quadro 4 : Relação dos trabalhos selecionados com foco na sustentabilidade.

TÍTULO	AUTOR	MATERIAIS UTILIZADOS	PROCEDIMENTO UTILIZADO DE ACORDO COM A NBR 15575
RESISTÊNCIA, DENSIDADE E DESEMPENHO TERMOACÚSTICO DO CONCRETO COM ESPUMA DE POLIESTIRENO (EPS) APLICADO ÀS CONSTRUÇÕES	Wolff, P. S. (2008) Paraná	Utilização de EPS em concretos	Informativo: Termopares tipo K em uma caixa simuladora.
DESEMPENHO TÉRMICO-ACÚSTICO-MECÂNICO DE UM COMPOSITO DE MATRIZ CIMENTÍCIA LEVE REFORÇADO COM CASCA DE ARROZ	Pachla, E. <i>et al</i> (2019)	Casca e Palha de arroz aplicadas ao concreto em diferentes teores e comprimentos.	Informativo: Equipamento da <i>LaserComp</i> , modelo FOX 304.
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, TÉRMICA E ACÚSTICA DE UM COMPOSITO QUE UTILIZA REJEITOS DE MÁRMORE, GRANITO E EPS PARA A FABRICAÇÃO DE BLOCOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL	Santos, N.R.G (2014) Natal	Blocos vazios e blocos preenchidos com garrafas PET's de 500 ml, utilizando resíduos de mármore/granito e isopor.	Informativo: Termopares tipo K fixados no centro do Cômodo a 1,5m de altura.

Fonte: Autor, 2020.

Para a utilização de concretos que utilizam materiais alternativos em sua mistura, a escolha dos trabalhos levou em consideração a disponibilidade local dos materiais utilizados, buscando apresentar uma alternativa para a utilização, dos resíduos estudados.

WOLFF (2008) utilizou a espuma de poliestireno (EPS) – em substituição ao agregado graúdo - para a fabricação de concreto e buscou verificar o desempenho térmico destes produtos.

PACHLA (2019) verificou o desempenho térmico de concretos utilizando palha de arroz. O trabalho é de grande importância, por utilizar um material de descarte da própria região que gera um grande problema ambiental.

SANTOS (2014), utilizou, não apenas EPS, mas também materiais como rejeitos de mármore e granito, apresentando uma alternativa viável para a reutilização desses rejeitos.

3.2.3 Trabalhos com foco no uso de materiais alternativos visando a melhoria do desempenho térmico

Foram selecionados dois trabalhos (Quadro 5) com foco no desempenho térmico de edificações construídas em *Light Steel Frame*, mas com fechamentos distintos.

Quadro 5 : Relação dos trabalhos selecionados com foco no uso de materiais alternativos.

TÍTULO	AUTOR	MATERIAIS UTILIZADOS	PROCEDIMENTO UTILIZADO DE ACORDO COM A NBR 15575
CONFORTO TERMO – ACÚSTICO DE UMA HABITAÇÃO DE BAIXO CUSTO	Correia, C.M.P. (2009) São Carlos	<i>Light Steel Frame</i> com fechamento em novogesso.	Informativo: Medida através da técnica do fio quente, um método direto, absoluto e não estacionário que é capaz de fornecer medidas num amplo leque de temperaturas.
DESEMPENHO TERMO-ACÚSTICO DE UMA UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE CONSTRUÍDA EM <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>	Rodrigues, D.L.S. (2015) Formiga	Modelo construtivo <i>Steel Frame</i> com fechamento em placa cimentícia e gesso acartonado.	Informativo: Termo-higrômetro de precisão modelo HT-7020 da marca ICEL.

Fonte: Autor, 2020

Os trabalhos apresentados no Quadro 5 tem como objetos de estudo

edificações construídas em um mesmo sistema construtivo - o *Light Steel Frame* - porém se diferenciam entre si pelos diferentes fechamentos utilizados, como já informado.

CORREIA (2009) estudou o desempenho térmico de uma edificação com fechamento em novogesso e RODRIGUES (2015), estudou o desempenho térmico de uma edificação com fechamento externo em placa cimentícia e interno em gesso acartonado.

Ambos os trabalhos apresentam resultados importantes, pois tratam de um sistema construtivo diferente dos demais, além disso, cada um deles com suas particularidades levanta pontos importantes no que diz respeito ao conforto térmico de edificações.

4 RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados das pesquisas selecionadas nos itens 4.1 a 4.3.

É importante salientar que os resultados obtidos nas distintas pesquisas não serão comparados entre si, pois são parte de estudos realizados de forma totalmente individual, não necessariamente utilizando os mesmo métodos, equipamentos, ou estando sob mesma solicitação de desempenho térmico.

4.1 Trabalhos com foco no desempenho térmico de materiais convencionais

4.1.1 Análise do desempenho térmico, lumínico e acústico: Estudo do Bloco J da UTFPR, Campus de Pato Branco

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil da UTFPR Campus de Pato Branco, realizado por Gabriel Silva e Renan Ferri no ano de 2018.

Para a realização deste trabalho, Silva *et al.* (2018) realizaram a análise de desempenho térmico de blocos de uma estrutura composta por vigas e pilares pré-moldados, com fechamento de alvenaria com tijolos a vista (Figura 2). As esquadrias externas desta estrutura são constituídas de janelas basculantes (alumínio e vidro), e portas de metal e vidros. Internamente, foi adotado o uso de portas de madeira. O sistema construtivo da cobertura é do tipo Shed, permitindo que a luz natural atravesse a cobertura através de materiais transparentes e aberturas, porém, na edificação analisada o material transparente foi pintado de forma a tornar-se opaco. Foram utilizados forros de PVC.

Figura 2 – Bloco J – UTFPR-PB.



Fonte: Silva e Ferri, 2018.

A edificação adotada como área de estudo está situada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) dentro do Campus do município de Pato Branco. A cidade localiza-se no sudoeste do estado do Paraná distante 433,029km da cidade de Curitiba, capital do estado.

O Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), seguindo a série de dados obtida pelo próprio Instituto até o ano de 1998, e utilizando do sistema de classificação climática de Köppen o qual se baseia na vegetação, temperatura e índice pluviométrico, classifica o clima do Paraná em duas classes: o Clima subtropical – Cfa e Clima temperado propriamente dito – Cfb, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Classificação Climática de Köppen.



Fonte: Adaptado de: IAPAR, 2015.

O IAPAR em seu site cita para esses climas as seguintes características:

Cfa - Clima subtropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

Cfb - Clima temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida.

Segundo TABALIPA e FIORI (2008), a atmosfera patobranquense possui um clima chuvoso, mesotérmico, úmido e superúmido sem estação seca, de verões frescos e frequentes geadas. Sua classificação de Köppen é definida como Cfb – Clima temperado. No período entre julho e agosto são registradas as temperaturas mais baixas com medições entre 6° e 8°C. Janeiro é o mês onde ocorre o registro de maiores temperaturas com média de 22°C.

Para a medição dos dados térmicos foram utilizados equipamentos *Datalogger* de temperatura e umidade à prova d'água de dois modelos diferentes, conforme mostrado no Quadro 6.

Quadro 6: Modelos Datalogger utilizados no experimento.

Equipamento	Especificações	Medições
Datalogger Modelo AK 174 (AKSO) 	Acurácia de $\pm 0,5$ °C de temperatura e $\pm 3\%$ para a umidade relativa do ar. A escala de medição de -30 a 85°C para a temperatura e de 0 a 100% para a umidade com resolução de um décimo.	As medições realizadas foram tomadas a cada 30 minutos durante 24 horas sendo as leituras visualizadas em software próprio do equipamento.
Datalogger Modelo U10-003 (HOBO) 	Acurácia de $\pm 0,53$ °C de temperatura e $\pm 3,5\%$ para a umidade relativa do ar. A escala de medição de -20 a 70°C para a temperatura e de 25 a 95% para a umidade com resolução de um décimo.	As medições realizadas foram tomadas a cada 30 minutos durante 24 horas sendo as leituras visualizadas em software próprio do equipamento.

Fonte: Silva e Ferri, 2018.

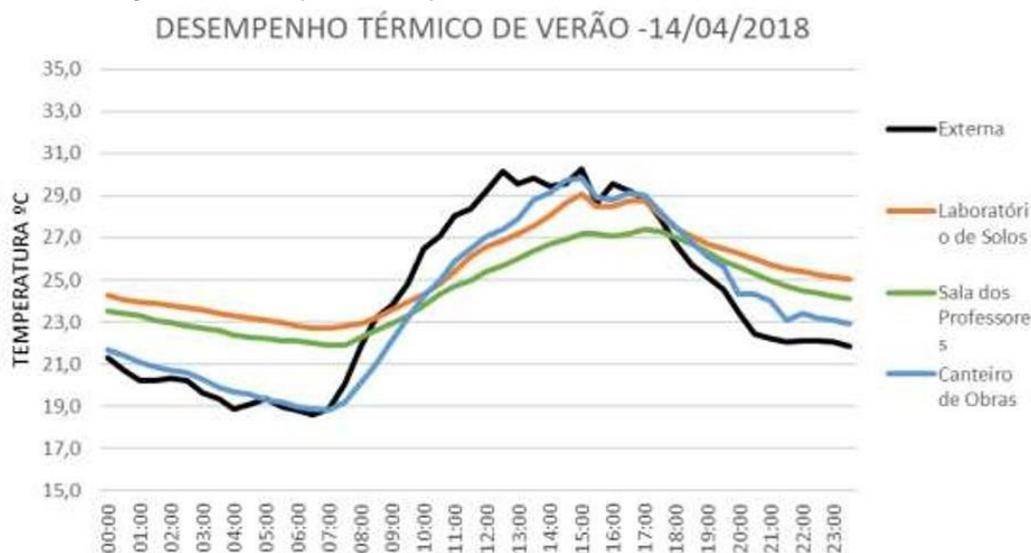
Foram preparados tripés em madeira com o objetivo de fixar e manter os

aparelhos a uma altura de 1,20 m do piso. Um dos aparelhos foi posicionado na parte externa, em ambiente preparado para coleta de dados meteorológicos, ao abrigo da exposição direta da radiação solar, nas imediações do local em estudo. Na parte interna, foram avaliados tres locais diferentes:

- a sala da Coordenação do Curso de Engenharia Civil (COECI), que é subdividida por divisórias navais, possui forro PVC e aparelhos condicionadores de ar;
- o laboratório de mecânica dos solos, onde os principais experimentos envolvem teor umidade sem que exista uma abertura para o exterior da edificação;
- e o Laboratório de Práticas Construtivas (Canteiro de Obras), o qual simula um canteiro de obras com equipamentos distribuídos pelo ambiente e depósitos de materiais e é o único que não possui fechamento no teto com forro PVC.

O desempenho térmico de verão do bloco em estudo, realizado no dia 14/04/2018 para os ambientes analisados, sendo eles a sala de permanência dos professores, além da medição externa, apresentou o resultado que está representado no gráfico da Figura 4.

Figura 4 - Variação de Temperatura para o verão.



Fonte: Silva e Ferri, 2018.

Na análise do desempenho térmico do verão, percebe-se que a “área externa” e o “canteiro de obras” demonstraram comportamento térmico semelhante. Ambas evidenciaram importante amplitude térmica, ou seja, a variação de temperatura ocorrida durante o dia, as quais corresponderam aos valores de 11,6 e 11 °C. Para tanto, o desempenho térmico desses ambientes indicou temperatura mínima de 19 °C

por volta das 7h00min, com aparente elevação térmica até as 15h00min, com temperatura aproximada de 30 °C, com a conseqüente redução da temperatura.

Em compensação, a sala de permanência dos professores e o Laboratório de Solos apresentaram comportamento térmico semelhantes entre si, porém se comparados aos outros dois ambientes, identifica-se uma amplitude térmica registrada por volta de 6 °C. O Laboratório de Solos indicou temperatura mínima de 22,7 °C próximo das 7h00min, com elevação térmica até as 15h00min, com temperatura aproximada de 29,1 °C, com a conseqüente redução da temperatura. A sala de permanência dos professores registrou temperatura mínima de 21,9 °C próximo das 7h00min, com elevação térmica até as 15h00min, com temperatura aproximada de 27,2 °C, com a conseqüente redução da temperatura.

Dessa forma, analisou-se a temperatura máxima do ambiente com a temperatura máxima externa e comparou-se o desempenho de acordo com a norma NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO..., 2013), para a zona bioclimática 2. O desempenho térmico dos ambientes está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise de desempenho térmico de verão.

Nível de Desempenho	Zonas 1 a 5		
	Critério de Norma	Análise de Desempenho	
		Lab. Solos	Sala dos Professores
Mínimo	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	29,1 ≤ 30,3	27,2 ≤ 30,3
Intermediário	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2^{\circ}\text{C})$	29,1 ≤ 28,3	27,2 ≤ 28,3
Superior	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4^{\circ}\text{C})$	29,1 ≤ 26,3	27,2 ≤ 26,3

Fonte: Silva e Ferri, 2018.

O desempenho mínimo é atingido quando a temperatura interna é menor ou igual a temperatura externa. O desempenho Intermediário é atingido quando a temperatura interna é 2 °C menor que a temperatura externa. Já o nível superior é atingido quando a temperatura interna é 4 °C menor que a temperatura externa.

Dessa forma o Laboratório de Solos apresentou desempenho mínimo, onde a temperatura interna máxima é apenas 1,2 °C menor que a temperatura externa máxima. Já a sala de permanência dos professores apresentou desempenho térmico intermediário onde a temperatura interna máxima é 2,9 °C menor que a temperatura externa máxima.

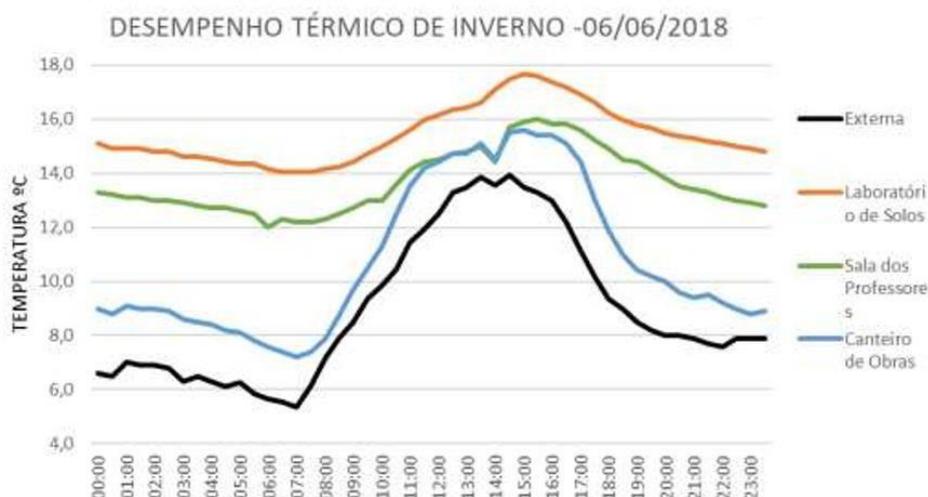
O Laboratório de Práticas Construtivas (Canteiro de Obras) obteve

comportamento semelhante com as condições externas devido à combinação de materiais, espessuras, tipo de esquadrias (portões feitos com chapas de aço), tipo de cobertura (Telhas de cimento amianto, 6 mm), ausência de tratamento térmico, ou seja, não utilizado materiais isolantes, tais como, lã-de-vidro ou lã-de-rocha, ou mesmo de mantas termo refletivas. Este local é destinado à execução de atividades práticas inerentes à construção civil e tem por propriedade ser amplo, de elevado pé direito e com aberturas que promovem a troca de ar com o ambiente externo. Estas características esclarecem o desempenho térmico semelhante com a medição externa.

Já a sala de permanência dos professores e o Laboratório de Solos apresentaram desempenhos semelhantes devido ao fato de possuírem componentes de isolamento térmico semelhantes, isto é, paredes em alvenaria de tijolo à vista com dois furos e forro de PVC. A diferença de quase 2 °C entre as temperaturas de pico se devem ao fato de que o Laboratório de Solos não possui aberturas que promovem a troca de ar, tornando o ambiente mais insalubre.

O desempenho térmico de inverno do bloco J foi realizado no dia 06/06/2018 para os ambientes analisados, sendo eles a sala de permanência dos professores, Laboratório de Solos e o Laboratório de Práticas Construtivas, além da medição externa. Essas medições apresentaram os resultados apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Variação de Temperatura para o inverno.



Fonte: Silva e Ferri, 2018.

O desempenho mínimo é atingido quando a temperatura interna é 3 °C maior que a temperatura externa. O desempenho Intermediário é atingido quando a temperatura interna é 5 °C maior que a temperatura externa. Já o nível superior é

atingido quando a temperatura interna é 7 °C maior que a temperatura externa.

Na análise de desempenho térmico do inverno, percebe-se, assim como na análise para o verão, que a área externa e o Laboratório de Práticas Construtivas demonstraram comportamento térmico semelhante. Ambas evidenciaram importante amplitude térmica as quais apresentaram o valor aproximado de 8,5 °C. Para tanto, a medição externa indicou temperatura mínima de 5,3 °C por volta das 7h00min, com aparente elevação térmica até às 14h30min, com temperatura aproximada de 14 °C, com a conseqüente redução da temperatura. O Laboratório de Práticas Construtivas (Canteiro de Obras) registrou temperatura mínima de 7,2 °C próximo das 7h00min, com elevação térmica até as 15h00min, com temperatura de 15,6 °C, com a conseqüente redução da temperatura.

A sala de permanência dos professores e o Laboratório de Solos apresentaram comportamento térmico semelhantes entre si, com amplitude térmica registrada por volta de 4 °C. O laboratório de solos indicou temperatura mínima de 14,0 °C próximo das 7h00min, com elevação térmica até as 15h00min, com temperatura aproximada de 17,7°C, com a conseqüente redução da temperatura. A sala de permanência dos professores registrou temperatura mínima de 12 °C próximo das 6h00min, com elevação térmica até às 15h30min, com temperatura aproximada de 16,0 °C, com a conseqüente redução da temperatura. Constatou-se também o fenômeno de atraso térmico, onde as salas possuem maior resistência para ganhar ou perder temperatura.

Dessa forma analisaram-se as temperaturas mínimas do ambiente com a temperatura mínima externa e compararam-se os desempenhos de acordo com a norma NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO..., 2013), para a zona bioclimática 2. O desempenho térmico dos ambientes está apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Análise de desempenho térmico de inverno.

Nível de Desempenho	Zonas 1 a 5		
	Critério de Norma	Análise de Desempenho	
		Lab. Solos	Sala dos Professores
Mínimo	$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 3^{\circ}\text{C})$	14,0 \geq 8,3	12,0 \geq 8,3
Intermediário	$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 5^{\circ}\text{C})$	14,0 \geq 11,3	12,0 \geq 11,3
Superior	$T_{i,mín} \geq (T_{e,mín} + 7^{\circ}\text{C})$	14,0 \geq 13,3	12,0 \geq 13,3

Fonte: Silva e Ferri, 2018.

Observa-se (Tabela 3) que o Laboratório de Solos apresentou desempenho superior, onde a temperatura interna mínima é de 8,7 °C maior que a temperatura externa mínima. Já a sala de permanência dos professores apresentou desempenho térmico intermediário onde a temperatura interna mínima é 6,7 °C maior que a temperatura externa mínima.

Conclui-se que na avaliação térmica, a edificação apresentou classificação de desempenho para o Laboratório de Solos como mínimo para o verão e superior para o inverno, enquanto a Sala de Permanência dos Professores apresentou desempenho intermediário no verão e inverno. Ou seja, ambos atendem aos requisitos estabelecidos.

4.1.2 Análise de desempenho termoacústico do sistema construtivo de paredes de concreto

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil da UniEvangélica, Anápolis/GO, realizado por Gabriel de Oliveira Machado e Matheus Henrique Aruda Gomes no ano de 2019.

O programa experimental foi desenvolvido na cidade de Anápolis e foram utilizados os empreendimentos da Realiza Construtora. O sistema construtivo da edificação de paredes de concreto possui como principais características a moldagem no local dos elementos constituintes, como a estrutura e a parte de vedação. Todas as paredes pertencentes a cada ciclo construtivo de uma edificação são moldadas em apenas uma única concretagem, garantindo após a desforma que as paredes contemplem todos os elementos concluídos como o caso dos vãos de portas e janelas e também as instalações indicadas em projeto (ABCP *et al.*, 2008).

A coleta de dados e realização dos ensaios necessários ocorreu durante os meses de dezembro/2018 à abril/2019. Para a elaboração do trabalho e apresentação dos resultados a respeito do desempenho desta metodologia construtiva, foram coletadas informações nos diferentes empreendimentos da construtora os quais utilizam a mesma metodologia construtiva.

O ensaio de verificação quanto ao atendimento do desempenho térmico seguiu as prescrições normativas contidas na NBR 15575:1 (ABNT, 2013), para a comprovação e validação do desempenho térmico apresentado pelas paredes de concreto dos ambientes pertencentes as unidades habitacionais.

A verificação e posterior avaliação do desempenho térmico foi realizado de

acordo com as características geométricas pertencentes ao projeto e disposição dos elementos arquitetônicos e foi executado por meio de simulação computacional conforme prescrições da norma NBR 15220:2 (ABNT, 2008). As unidades habitacionais devem atender as características exigidas, conforme considerações relacionadas as zonas bioclimáticas definidas pela NBR 15220:3 (ABNT, 2005).

Como método de avaliação foi utilizado um simulador computacional intitulado de *Energy Plus*, versão 8.8 conforme orientações normativas prescritas. Para a adequação da situação apresentada pela zona bioclimática foi utilizado o modelo do local mais próximo para que as simulações pudessem ser realizadas com menor margem de erro possível, foi utilizado o arquivo climático da cidade de Goiânia (Goiás).

A análise ocorreu em uma edificação residencial multipiso de 4454,93 m². Os ambientes analisados foram as áreas comuns de vivência como os quartos, sala e cozinha localizadas no último pavimento conforme ilustrado pela figura 6. Os autores não deixam claro quais apartamentos foram testados no andar, fazendo supor que todos eles apresentam as mesmas condições térmicas.

Figura 6 – Detalhe da planta dos ambientes



■ Áreas Ensaladas

Fonte: Machado *et al.* (2019).

No trabalho de Machado *et al.* (2019) não é apresentado o posicionamento da

construção analisada, fazendo supor que o mesmo não foi considerado relevante para a análise dos dados apresentados.

A edificação está localizada em Anápolis (Goiás), que segundo prescrições normativas contidas na NBR 15220:3 (ABNT, 2005) é classificada como zona bioclimática 06. Para a simulação no *software* foi utilizado as especificações contidas em projeto para a definição dos materiais e conseqüentemente da condutividade térmica.

A coleta de informações foi realizada em um dia típico de verão, com a utilização e entrada de dados conforme dados fornecidos pelo arquivo climático. Segundo NBR 15220:3 (ABNT, 2015), não se faz necessário realização de simulação para o inverno em caso de edificações localizadas na zona bioclimática 6, portanto foi realizada uma avaliação no verão. Os resultados obtidos pela simulação computacional do *software Energy Plus*, são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Resultados da simulação do *software Energy Plus*. Onde: M – Temperatura interna máxima $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$; I – Temperatura interna máxima $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$; S – Temperatura interna máxima $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$.

Data	Temp. Ext. Máx. $^{\circ}\text{C}$	ZP1SL:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP1Q:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP1SU:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado
12/20	Ti max $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$: M	32,76	M	32,66	M	32,72	M
	Ti max $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$: I						
	Ti max $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$: S						
Data	Temp. Ext. Máx. $^{\circ}\text{C}$	ZP2SL:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP2Q:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP2SU:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado
12/20	Ti max $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$: M	32,77	M	32,70	M	32,65	M
	Ti max $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$: I						
	Ti max $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$: S						
Data	Temp. Ext. Máx. $^{\circ}\text{C}$	ZP3SL:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP3Q:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP3SU:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado
12/20	Ti max $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$: M	32,78	M	32,73	M	32,74	M
	Ti max $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$: I						
	Ti max $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$: S						
Data	Temp. Ext. Máx. $^{\circ}\text{C}$	ZP4SL:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP4Q:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP4SU:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado
12/20	Ti max $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$: M	32,77	M	32,72	M	32,67	M
	Ti max $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$: I						
	Ti max $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$: S						
Data	Temp. Ext. Máx.	ZP5SL:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP5Q:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP5SU:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado
12/20	Ti max $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$: M	32,77	M	32,70	M	32,65	M
	Ti max $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$: I						
	Ti max $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$: S						
Data	Temp. Ext. Máx. $^{\circ}\text{C}$	ZP6SL:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP6Q:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP6SU:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado
12/20	Ti max $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$: M	32,77	M	32,71	M	32,73	M
	Ti max $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$: I						
	Ti max $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$: S						
Data	Temp. Ext. Máx. $^{\circ}\text{C}$	ZP7SL:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP7Q:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP7SU:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado
12/20	Ti max $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$: M	32,77	M	32,72	M	32,67	M
	Ti max $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$: I						
	Ti max $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$: S						
Data	Temp. Ext. Máx. $^{\circ}\text{C}$	ZP8SL:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP8SU:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado	ZP8Q:Zone Air Temperature [C](Daily)	Nível de desempenho alcançado
12/20	Ti max $\leq 34,6^{\circ}\text{C}$: M	32,76	M	32,74	M	32,73	M
	Ti max $\leq 32,6^{\circ}\text{C}$: I						
	Ti max $\leq 30,6^{\circ}\text{C}$: S						

Fonte: Machado *et al.* (2019).

Conforme prescrições normativas contidas na NBR 15220:2 (ABNT, 2008), considerando os critérios para avaliação do desempenho térmico os quesitos atenderam ao desempenho térmico requisitado, deste modo a edificação atendeu as prescrições normativas relacionadas ao conforto térmico de seus usuários.

4.1.3 Comparativo térmico e acústico entre os métodos construtivos, alvenaria convencional e parede de concreto moldada no local

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil da UTFPR Campus de Pato Branco, realizado por Patrick Luan Cardoso Baltokoski no ano de 2015.

Como objetos de estudo foram escolhidos 2 edifícios com as mesmas características arquitetônicas, localização e posicionamento. O primeiro objeto de estudo escolhido foi um edifício executado pelo método construtivo alvenaria convencional de quatro (4) pavimentos sendo o térreo comercial e os andares superiores com 2 apartamentos por andar. A fachada do edifício foi executada com tijolos de 6 furos assentados de meia vez, com largura de 9cm, e a camada de revestimento possuía uma espessura de 1,5cm (em cada lado da parede). A direção da vista frontal desta edificação está voltada para o sudoeste. Esta edificação já estava concluída e ocupada por moradores.

O segundo objeto de estudo escolhido foi uma edificação residencial com quatro (4) pavimentos, sendo dois (2) apartamentos por andar. O processo construtivo adotado foi o de parede de concreto moldada no local. A execução da vedação vertical deste edifício, que também tem a função estrutural, não seguiu as orientações da normativa brasileira que a rege, a NBR 16055:2012. Essa norma estabelece que a espessura mínima das paredes de fachada devem ser de 10cm. No edifício, as paredes de fachadas foram executadas com 8cm de espessura e feito seu acabamento com um revestimento de argamassa de 1,5cm somente nas paredes externas para corrigir imperfeições. A mesma NBR ainda sugere o uso de concreto auto adensável, tendo em vista a dificuldade de se adensar um concreto comum em meio a 10cm de espessura com malha de aço no seu centro, nesta edificação foi usado o concreto comum, feito em obra. Tal edificação estava em fase de acabamento, sendo os testes de desempenho realizados nas partes que já haviam recebido o acabamento final.

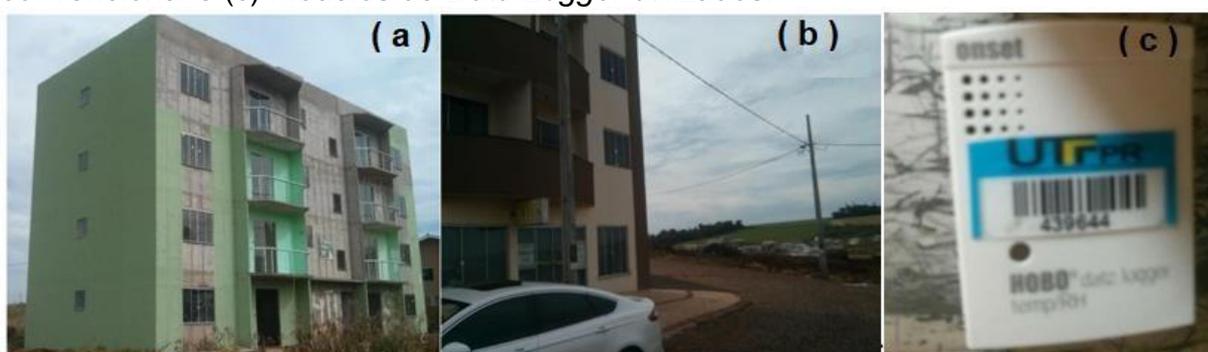
Os edifícios (Figura 7a e 7b) estão localizados no loteamento Nossa Senhora da Salete, no bairro Jardim Colina, da cidade de Dois Vizinhos, no estado do Paraná. Segundo a NBR 15220-3:2005 a região foi classificada como Zona Bioclimática 2 (Z2).

Para obtenção dos dados necessários para a avaliação do desempenho térmico foi feito uso do equipamento *Data Logger* de Temperatura (*Onset – Hobo Data Logger temp/RH*), apresentado na Figura 6-c. Foram usados três destes equipamentos, sendo um fixado no lado exterior da parede do edifício de Parede de

concreto moldadas no local, o segundo no lado interior de um dormitório do mesmo método construtivo e o terceiro no lado interior a um dormitório no método construtivo de alvenaria convencional.

As paredes dos dois objetos de estudo analisados são voltadas para a mesma direção, sudoeste. Sendo assim o objetivo de comparação de desempenho térmico entre os métodos permanece fiel. Os aparelhos *data loggers* foram fixados no primeiro andar dos dois edifícios.

Figura 7: Fachadas dos edifícios e *Data Logger*, sendo: (a) Edifício executado em Parede de Concreto moldado do local; e (b) Edifício executado em alvenaria convencional e (c) Modelos de *Data Logger* utilizados.



Fonte: Baltokoski, 2015.

A coleta de dados foi realizada no final do mês de setembro de 2015, no período de 19 a 28 de setembro de 2015, ou seja, final do inverno e início da primavera. Para este trabalho, os autores consideraram o critério de avaliação de desempenho em condições de inverno, tendo em vista o comportamento da temperatura exterior. A tabela 4 apresenta o coeficiente de variação de temperatura diário no período de avaliação.

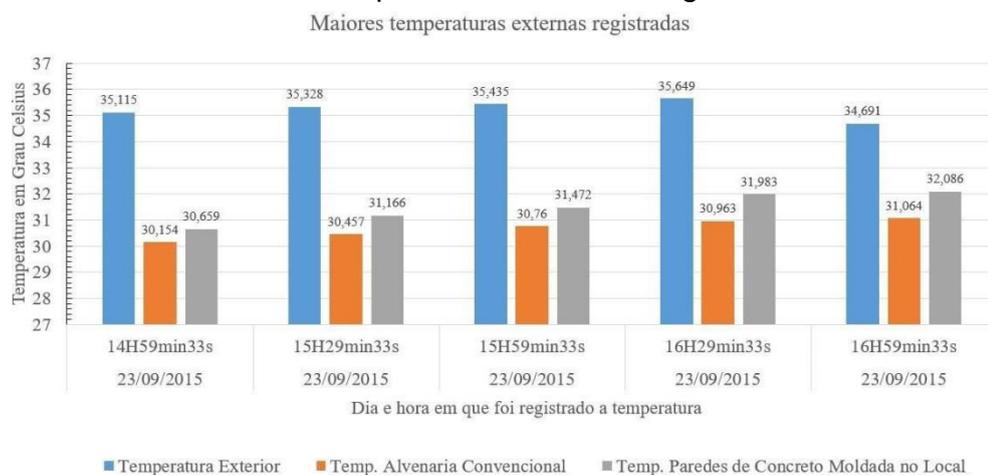
Tabela 4 - Coeficiente de variação das temperaturas apresentadas ao longo do dia

Coeficiente de variação de temperatura diário	
Dia	Coeficiente de variação
19/09/2015	9,41%
20/09/2015	10,70%
21/09/2015	18,81%
22/09/2015	17,15%
23/09/2015	17,03%
24/09/2015	14,10%
25/09/2015	4,23%
26/09/2015	8,50%
27/09/2015	5,22%
28/09/2015	18,79%

Fonte: Baltokoski, 2015

As figuras 8 e 9 apresentam as diferenças registradas entre os dois métodos construtivos estudados nas maiores e menores temperaturas registradas, respectivamente.

Figura 8 - Gráfico das maiores temperaturas externas registradas



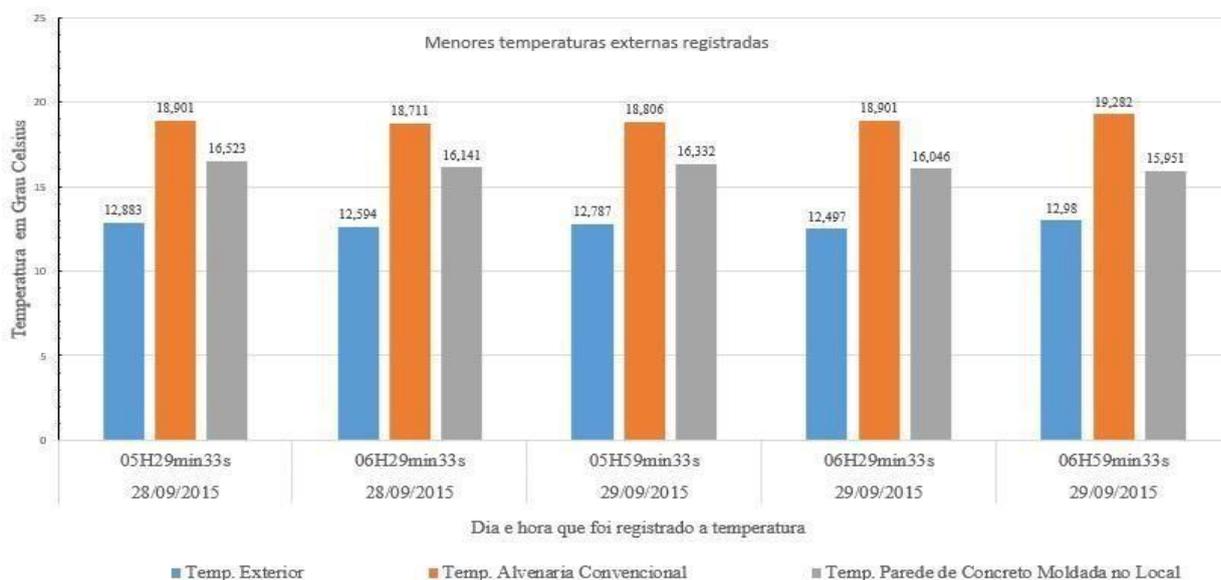
Fonte: Baltokoski, 2015

Tabela 5 – Média das temperaturas apresentadas no gráfico da figura 8

Média das maiores temperaturas apresentadas (Grau Celsius)				
Externa	Alvenaria convencional	Parede de concreto moldada no local	Diferença entre alvenaria convencional e externa	Diferença entre parede de concreto moldada no local e externa
35,244	30,680	31,473	-4,564	-3,770

Fonte: Baltokoski, 2015

Figura 9 - Gráfico das menores temperaturas externas registradas



Fonte: Baltokoski, 2015

Tabela 6 – Média das temperaturas apresentadas no gráfico da figura 9

Média das menores temperaturas apresentadas (Grau Celsius)				
Externa	Alvenaria convencional	Parede de concreto moldada no local	Diferença entre alvenaria convencional e externa	Diferença entre parede de concreto moldada no local e externa
12,748	18,920	16,199	6,172	3,450

Fonte: Baltokoski, 2015

Pôde-se constatar que os dois métodos construtivos atendem a norma de desempenho, sendo que a alvenaria convencional obteve um nível de desempenho intermediário, atingido quando a temperatura interna é 5 °C maior que a temperatura externa. Já a parede de concreto moldada no local obteve nível de desempenho mínimo, atingido quando a temperatura interna é 3 °C maior que a temperatura externa.

Para fins de comparação, os autores utilizaram o coeficiente de variação para relacionar as temperaturas coletadas, tal coeficiente se dá pelo quociente do desvio padrão de um intervalo de valores pela média aritmética dos valores do mesmo intervalo.

O valor do coeficiente de variação da temperatura na alvenaria convencional foi de 1,22% e na parede de concreto moldada no local de 1,87%. A alvenaria convencional apresentou uma menor variação da temperatura no tempo, indicando uma menor transmitância térmica e uma maior capacidade térmica, característica

comum de ser encontrada em materiais mais densos, que seria o caso da parede de concreto moldada no local.

De acordo com os critérios de avaliação de desempenho da Tabela 3 (página 34), extraída da NBR 15575:2013, os autores definiram o desempenho térmico da alvenaria convencional como intermediário e o desempenho da parede de concreto moldada no local, como mínimo.

Novamente o autor aplicou o coeficiente de variação, utilizando as temperaturas externas medidas nos dias 28/09/2015 e 29/09/2015. Devido ao fato das medições extenas terem sido realizadas em dois dias diferentes, o coeficiente de variação foi aplicado duas vezes para cada objeto de estudo.

Para a alvenaria convencional os valores dos coeficientes de variação foram de 0,71% para o primeiro dia, 28/09/2015, e 1,33% para o segundo dia (29/09/2015). Na parede de concreto moldada no local no primeiro dia o coeficiente de variação foi de 1,65% e no segundo 1,24%.

Nota-se uma grande diferença entre os coeficientes de variação nos métodos construtivos de alvenaria convencional e parede de concreto moldada no local. No primeiro dia, a alvenaria convencional apresentou coeficiente de variação de 0,71% e a parede de concreto moldada no local, de 1,65%, confirmando a hipótese de que a alvenaria convencional teria uma melhor capacidade térmica e uma menor transmitância, porém quando a comparação é feita entre os valores dos coeficientes de variação do mesmo método de um dia para outro, se percebe que a alvenaria teve uma variação maior, de 0,62% de diferença enquanto a parede de concreto moldada no local teve uma diferença de 0,41%, o que pode-se presumir que em condições de menores temperaturas a alvenaria convencional possui uma menor transmitância, porém a parede de concreto moldada no local possui uma maior capacidade térmica quando analisada por um período de tempo maior. Portanto, a alvenaria convencional transmite menos calor entre dois ambientes, porém tal transmitância acarreta em uma maior variação da temperatura ao longo do tempo, enquanto a parede de concreto moldada no local possui uma maior transmitância de temperatura do que a alvenaria convencional, porém tal valor tem menor impacto a temperatura do ambiente interno, visto sua maior capacidade térmica.

Quando analisado o pico de temperatura externa, entre 06H59min33s e 07H29min33s confirma-se também o comportamento de transmitância térmica dos dois métodos, nota-se que neste curto período de tempo a parede de concreto teve

uma maior variação de temperatura do que a alvenaria convencional, que permaneceu praticamente na mesma temperatura.

Quanto ao desempenho térmico dos métodos construtivos comparados neste trabalho pode-se afirmar que a parede de concreto moldada no local obteve um resultado melhor que o da alvenaria convencional, corroborando com o trabalho de Roriz (2013), que afirma que materiais mais densos irão proporcionar maior conforto ao usuário de um edifício residencial, isso por que na execução do sistema vertical de vedação utilizasse material mais denso do que na alvenaria o qual irá contribuir para a maior capacidade térmica do edifício como um todo.

4.1.4 Conclusões sobre os Trabalhos com Foco na Análise do Desempenho Térmico de Materiais Convencionais

Nesse tópico será realizado um fechamento das pesquisas que abordaram o tema de desempenho térmico de materiais convencionais, apresentando as principais conclusões em relação ao atendimento da NBR 15575/2013 (Quadro 8).

Quadro 8: Resultados de desempenho térmico das pesquisas selecionadas de acordo com as recomendações normativas da NBR 15575:2013

TÍTULO	AUTOR	RESULTADOS
ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO, LUMÍNICO E ACÚSTICO: ESTUDO DO BLOCO J DA UTFPR CAMPUS DE PATO BRANCO	Silva, G.J.A e Ferri, R (2018) - Pato Branco - PR	Desempenho térmico satisfatório
ANÁLISE DE DESEMPENHO TERMOACÚSTICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO	Machado, G.O e Gomes, M.H.A. (2019) - Anápolis - GO	Desempenho térmico satisfatório
COMPARATIVO TÉRMICO A ACÚSTICO ENTRE OS MÉTODOS CONSTRUTIVOS, ALVENARIA CONVENCIONAL E PAREDE DE CONCRETO MOLDADA NO LOCAL	Baltokoski, P. L. C. (2015) Paraná	Desempenho térmico satisfatório

Fonte: Autor, 2020.

Analisando os dados apresentados por Silva e Ferri (2018), Boltokoski (2015) e Machado e Gomes (2015), conclui-se que todas as estruturas analisadas atenderam aos requisitos normativos (NBR 15575:2013).

As alvenarias tradicionais de tijolos analisadas por Silva e Ferri (2018) apresentaram resultados diferentes para cada um dos cômodos analisados, o que demonstra que não apenas o sistema construtivo da edificação, mas também as características do cômodo, interferiram no seu desempenho térmico. Os resultados ficaram entre mínimo e intermediário para o verão e intermediário e superior para o inverno, atendendo aos quesitos de desempenho térmico.

A análise realizada por Machado e Gomes (2019) apresentou uma metodologia diferente, ao utilizar um procedimento puramente normativo para a análise de desempenho térmico da edificação. Tendo como objeto de estudo uma edificação com paredes de concreto moldadas no local, os autores puderam determinar, a partir da utilização do *software Energy Plus* que o sistema construtivo atende de forma satisfatória ao desempenho térmico exigido na norma NBR 15575:2013.

Boltokoski (2015) apresentou desempenhos entre “superior e intermediário” para um comparativo entre alvenaria convencional e paredes de concreto moldadas no local, segundo a NBR 15575. Entre os autores consultados, Boltokoski (2015) foi o único que verificou o coeficiente de variação das temperaturas. O autor concluiu que a curto prazo a alvenaria convencional apresentou um desempenho térmico melhor, porém, a longo prazo, ela tem um desempenho inferior, com uma maior instabilidade nos resultados, quando comparadas altas e baixas temperaturas, o que torna o material inferior quanto ao desempenho térmico, quando comparado com paredes de concreto moldadas no local.

4.2 Trabalhos com foco na sustentabilidade

4.2.1 Resistência, densidade e desempenho termoacústico do concreto com espuma de poliestireno (EPS) aplicado às construções

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil da UNIOESTE, Cascavel, PR, realizado por Paulo Sérgio Wolff, no ano de 2008.

Para o desenvolvimento da pesquisa o autor produziu o traço 1: 2,5: 2,5 : 0, 75 (cimento: areia: brita: água), em volume, devido à facilidade que este proporciona para a quantificação dos materiais envolvidos.

Os teores de substituição da brita pela espuma de poliestireno expandido, previamente moída de forma manual, transformada em flocos, foram de 0% (referência), 25%, 50%, 75% e 100%, perfazendo cinco dosagens, conforme apresentada na Tabela 7. Para o controle da trabalhabilidade foi utilizado o ensaio de abatimento do tronco de cone, realizado de acordo com a NBR 7223/92 (ABNT, 1992).

Tabela 7 - Composições dos concretos preparados

Dosagem	I	II	III	IV	V
Traço em volume cimento: agregado total (1:m)	1 :5	1:5	1:5	1:5	1:5
Cimento CII - E 32	1	1	1	1	1
Areia	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Brita	2,5	1,875	1,25	0,625	0
EPS	0	0,625	1,25	1,875	2,5
Relação a/c	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Fonte: Wolff, 2008.

O sistema constituiu-se de: placas de concreto moldadas com os diferentes teores de substituição de brita por EPS, caixa térmica, fonte de calor radiante e sistema de medição de temperatura.

Para conformação das placas de concreto foram feitas molduras quadradas de madeira com 5 cm de altura (correspondente à espessura da placa) e 40 cm de lado. Estas molduras foram posicionadas sobre uma lona plástica, sobre a qual foi aplicado um desmoldante (óleo mineral). Procedeu-se então a execução das placas despejando o concreto com o auxílio de um carrinho de mão e colher de pedreiro. Em seguida, fez-se o adensamento das placas utilizando-se uma haste metálica. Para perfeito acabamento da superfície, utilizou-se desempenadeira de madeira. Os ensaios para análise do desempenho térmico e acústico foram realizados após 28 dias de execução das placas.

As paredes da caixa térmica (Figura 10) foram construídas em chapas de compensado naval de 18 mm de espessura. Para o fornecimento de calor foi montado um painel com dimensões de 9 x 40 x 40 cm (correspondente à medida do “fundo” da caixa térmica).

Figura 10 -Caixa térmica e fonte de calor radiante e teste de componentes elétricos.



Fonte: Wolff, 2008.

O sistema de medição de temperatura era constituído por quatro termopares tipo “T”, ligados a um equipamento para a coleta de dados dos termopares da marca *General Controls* (Figura 11). Este equipamento possuía um mostrador digital (*display*) no qual a temperatura de cada termopar podia ser lida à medida que se girava um seletor de canais. Os quatro termopares mediam a: temperatura próxima às lâmpadas (T1), a temperatura na face interna da placa de concreto (T2), na face externa da placa de concreto (T3), e o monitoramento da temperatura ambiente (T4).

Figura 11 – Equipamento para coleta de dados



Fonte: Wolff, 2008.

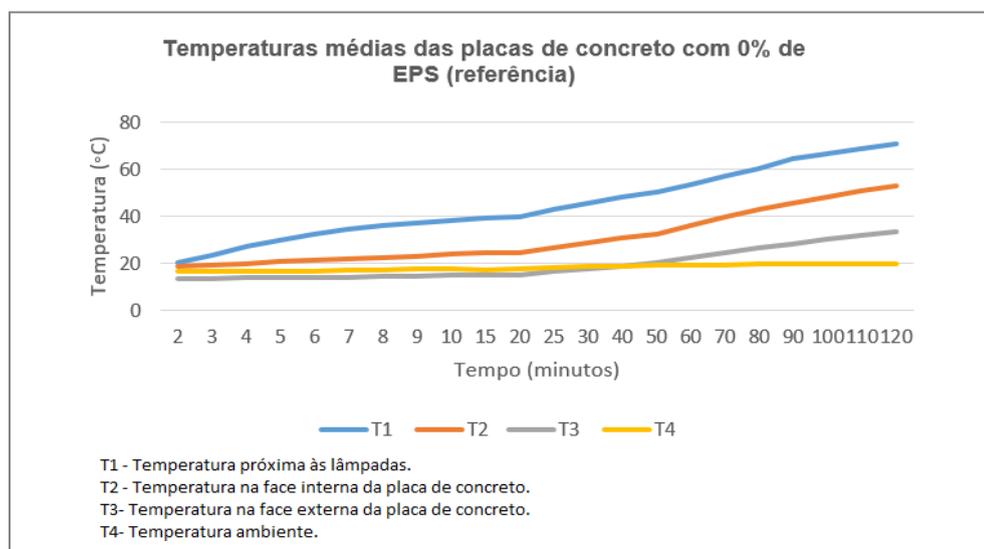
O tempo total de leitura, para cada placa, foi de exatas duas horas. Durante os primeiros dez minutos os dados foram registrados minuto a minuto, devido à

elevada variação da temperatura dos termopares T1, T2 e T3. Dos dez aos trinta minutos, as leituras foram realizadas a cada cinco minutos, e dos trinta aos cento e vinte minutos, a medição foi feita a cada dez minutos. Os experimentos foram realizados em local fechado para evitar a interferência de rajadas de vento.

Nas figuras 12 a 16, são apresentadas as curvas para as temperaturas médias em função do tempo, para cada um dos teores de substituição brita/EPS. As temperaturas são: temperatura próxima às lâmpadas (T1), temperatura na face interna da placa de concreto (T2), na face externa da placa de concreto (T3) e monitoramento da temperatura ambiente (T4).

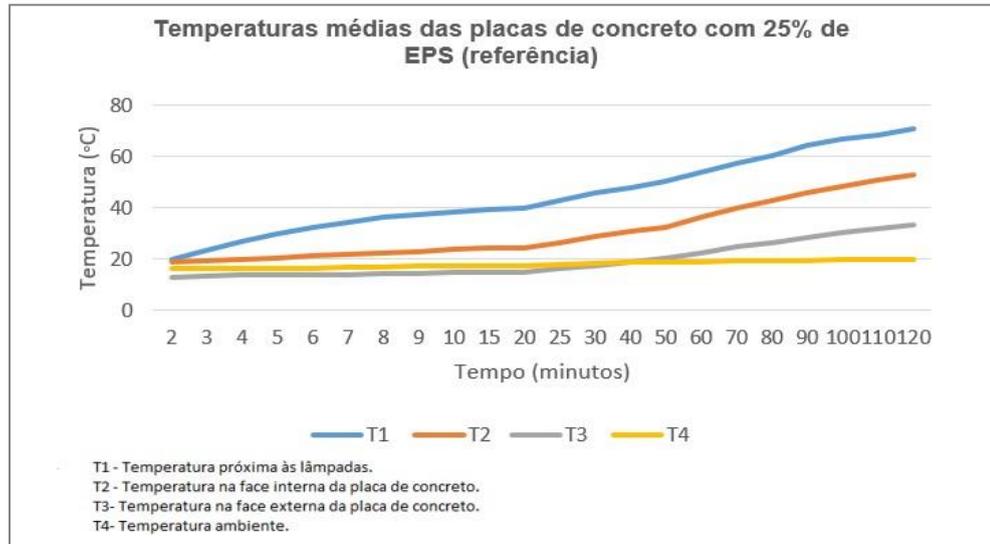
As curvas geradas pelos dados coletados originaram equações com coeficiente de determinação (R^2) superior a 0,90, indicando um bom ajuste dos dados.

Figura 12 - Temperaturas médias das placas de concreto referência com 0% de espuma de poliestireno expandido



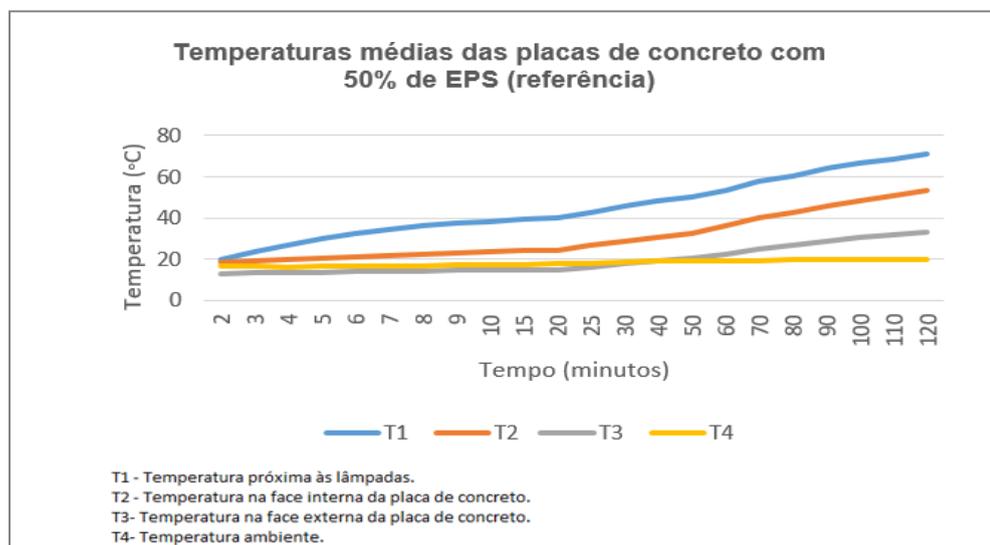
Fonte: Wolff, 2008.

Figura 13 - Temperaturas médias das placas de concreto referência com 25% de espuma de poliestireno expandido



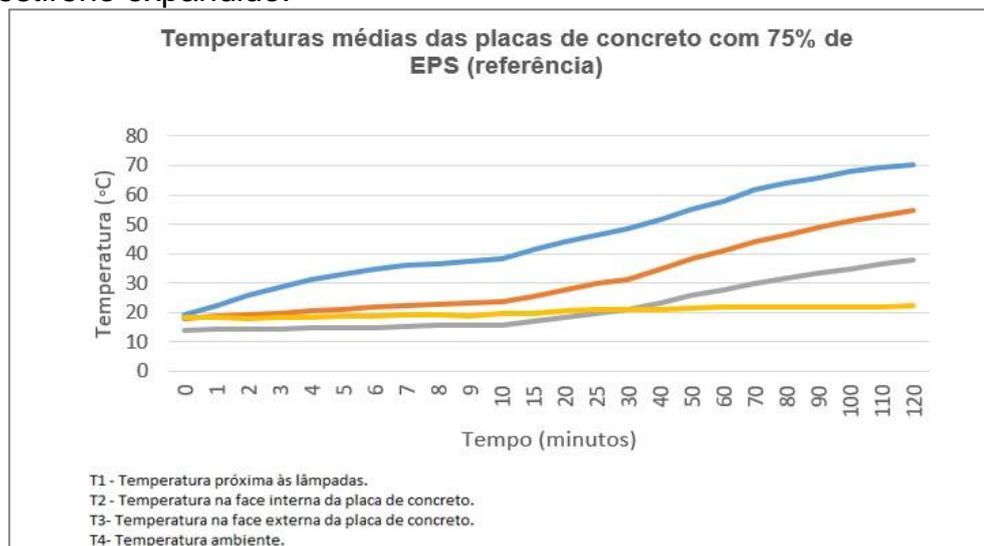
Fonte: Wolff, 2008.

Figura 14 - Temperaturas médias das placas de concreto com 50% de espuma de poliestireno expandido.



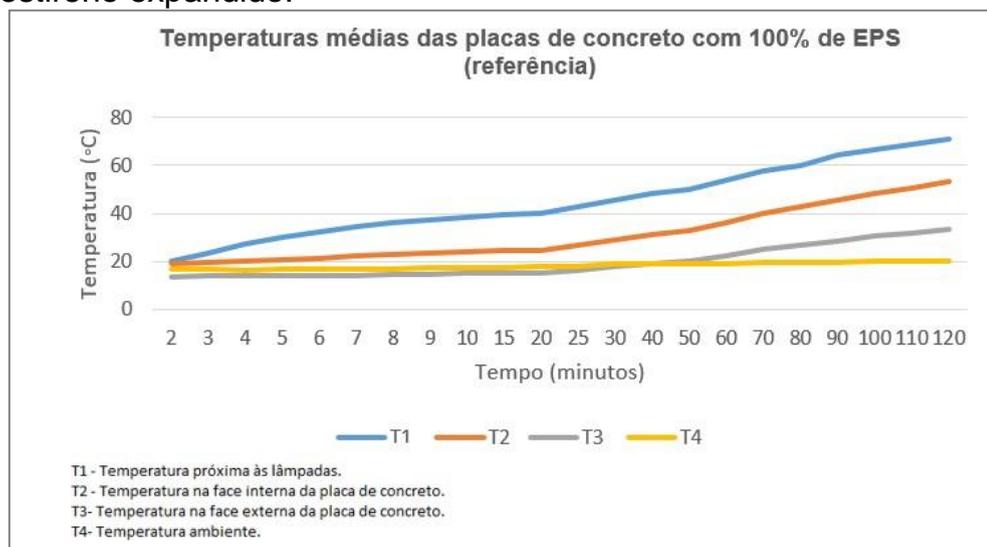
Fonte: Wolff, 2008.

Figura 15 - Temperaturas médias das placas de concreto com 75% de espuma de poliestireno expandido.



Fonte: Wolff, 2008.

Figura 16 - Temperaturas médias das placas de concreto com 100% de espuma de poliestireno expandido.



Fonte: Wolff, 2008.

Os autores observaram que à medida que aumentou o teor de incorporação de espuma de poliestireno expandido nos concretos, houve uma redução da densidade das misturas, e uma maior “resistência” à transferência do calor. Isto se manifestou de duas maneiras, descritas a seguir.

A segunda manifestação da dificuldade do calor em atravessar as placas com maior incorporação de espuma de poliestireno expandido ficou comprovada

peelo aumento da diferença de temperatura (ΔT) entre as faces interna e externa das placas de concreto (T2 e T3, respectivamente). Todas estas afirmações podem ser comprovadas nos gráficos apresentados nas (Figuras 13 a 17), analisando-se a “distância” entre as curvas “T face INT” e “T face EXT”.

Na Tabela 8, são apresentados os valores encontrados para a diferença entre as temperaturas interna e externa das placas de concreto, para cada um dos teores de substituição brita/espuma de poliestireno expandido, conforme metodologia acima descrita.

Tabela 8 - Diferença entre as temperaturas das faces interna e externa (T2 e T3, respectivamente), em °C, para valores de T1 propostos

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO DA BRITA PELO EPS					
	0% (ref.)	25%	50%	75%	100%
T1	$\Delta = T2 - T3$				
°C	°C	°C	°C	°C	°C
20	0,1	1,3	2,9	4,3	5,6
40	3,3	4,8	6,7	8,3	9,4
60	4,8	7,7	11,0	13,7	16,0

Fonte: Wolff, 2008

A Tabela 9 apresenta os valores absolutos medidos na face interna das placas (T3), quando a temperatura ambiente externa (T1) assume certos valores, apresentados na tabela.

Tabela 9 - Valores absolutos e percentuais determinados para a temperatura na face interna das placas de concreto

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO DA BRITA PELO EPS										
	0% (ref.)		25% EPS		50% EPS		75% EPS		100% EPS	
T1	T3	Variação	T3	Variação	T3	Variação	T3	Variação	T3	Variação
(°C)	(°C)	(%)	(°C)	(%)	(°C)	(%)	(°C)	(%)	(°C)	(%)
20	16,1	-	15,7	-2,5	14,9	-7,5	13,9	-13,7	13,2	-18,0
40	22,4	-	20,4	-8,9	18,2	-18,8	16,5	-26,3	15,1	-32,6
60	41,2	-	36,7	-10,9	31,6	-23,3	28,8	-30,1	26,6	-35,4

Fonte: Wolff, 2008

Como pode ser visto na Tabela 9, quando a temperatura ambiente externa é igual a 40°C, a temperatura na face interna da placa com 0% de espuma de

poliestireno expandido é igual a 22,4°C. Para os demais teores, T3 é igual a:

- 20,4°C, para o concreto 25%;
- 18,2°C, para o concreto 50%;
- 16,5°C, para o concreto 75%;
- 15,1°C, para o concreto 100% de espuma de poliestireno expandido.

Estes valores correspondem a uma redução de: 8,9%, 18,8%, 26,3% e 32,6%, respectivamente. Outro ponto a ser analisado é o que se refere à densidade das placas de concreto leve. É significativa para a análise a influência da densidade de um material sobre sua condutividade térmica, que é a propriedade que rege a maior ou menor facilidade com que um corpo, submetido a um gradiente de temperatura, conduz calor (quanto menor a densidade, menor será a condutividade térmica do material). Na Tabela 10, apresentam-se os valores médios encontrados para a densidade das placas de concreto.

Tabela 10 - Densidades médias das placas de concreto

PLACAS	PESO MÉDIO (Kg)	VOLUME MÉDIO (cm ³)	DENSIDADE MÉDIA (Kg.m ⁻³)
0%	21,0	8250,0	2545,5
25%	18,1	7812,5	2316,8
50%	16,8	7875,0	2133,3
75%	15,9	8687,5	1830,2
100%	14,9	8875,0	1678,9

Fonte: Wolff, 2008

A análise destes resultados confirma a hipótese de que, quanto maior o teor de substituição da brita pela espuma de poliestireno expandido, menor será a densidade da placa de concreto leve e, portanto:

- Maior será a diferença de temperatura entre as faces interna e externa (T2 – T3);
- Menor será a temperatura T3 na face interna da placa, para uma mesma temperatura T1 ambiente externa;
- Melhor será o desempenho térmico das placas e, se estas forem utilizadas como elemento de vedação, maior será a eficiência energética da edificação.

A espuma de poliestireno expandido conferiu ao concreto maior resistência à passagem do calor (resistência térmica), pois este polímero é um material com

baixo coeficiente de condutividade térmica. Esta propriedade está intimamente ligada à “incorporação” de vazios (ar) no interior da massa de concreto, dificultando a transferência do calor por condução.

Desta forma, quanto menor a densidade do concreto, densidade esta diminuída por meio do aumento da incorporação da espuma na mistura, menor será a condutividade térmica e acústica nos elementos construtivos fabricados com este concreto.

Neste sentido, as placas com 100% de substituição da brita por EPS mostraram-se mais eficientes. Reduzindo-se o fluxo de calor através das paredes, reduz-se a carga térmica e acústica no interior da edificação. Reduzindo também a carga solicitada por sistemas de climatização e de controle do som artificial e, conseqüentemente, a demanda de energia elétrica, trazendo eficiência energética e conforto ambiental para as construções urbanas e rurais.

4.2.2 Desempenho térmico-acústico-mecânico-durabilidade de compósitos de matriz cimentícia com reduzida massa específica reforçados por casca e palha de arroz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Pampa por Eduardo César Pachla no ano de 2017 que avaliou a condutividade térmica, o isolamento e a absorção acústica de compósitos cimentícios leves reforçados com casca e palha de arroz.

Pachla (2017) utilizou para este trabalho a casca de arroz “in natura” e a palha de arroz, utilizada como substituto em volume para a casca de arroz, em três diferentes comprimentos: 1 cm, 2 cm e 3 cm, e em três percentagens: 5%, 10% e 15%.

Para a realização deste trabalho, a palha e a casca do arroz foram adicionadas simultaneamente à mistura e posteriormente o cimento foi adicionado separadamente de maneira gradual. A adição da casca e da palha do arroz à mistura antes do cimento acarretou uma melhor homogeneização das fibras com a espuma.

Foram produzidos quatro amostras prismáticas de dimensões 250 x 250 x 50 mm³ (para os ensaios de condutividade térmica), oito amostras cilíndricas com diâmetro de 100 mm e altura de 200 mm (para os ensaios de compressão axial), seis amostras prismáticas de dimensões de 160 x 40 x 40 mm³ (para os ensaios de resistência à tração na flexão em 3 pontos) e três amostras cilíndricas de diâmetro de 29 mm e

altura de 50 mm (para os ensaios de desempenho acústico). Para os ensaios de condutividade térmica foram utilizadas as amostras prismáticas de dimensões 20 x 250 x 250 mm³. A Figura 17 ilustra as amostras em cura ambiente logo após a moldagem. As desmoldagens foram realizadas 24 horas após a moldagem para todos os traços.

Figura 17– Produção dos concretos: (a)Preparação dos moldes (aplicação do desmoldante); (b) Amostras em cura à temperatura ambiente, após a concretagem.



Fonte: Pachla, 2017

Antes das amostras serem ensaiadas a condutividade térmica, elas passaram por secagem durante 24 horas, em uma estufa, com temperatura de 65° C a fim de equalizar a presença de água nas superfícies. A Figura 18 ilustra uma placa de 250 x 250 x 50 mm³ para realização do ensaio de condutividade térmica.

Figura 18 – Placa de 250 x 250 x 50 mm³ para ensaio de condutividade térmica



Fonte: Pachla,2017

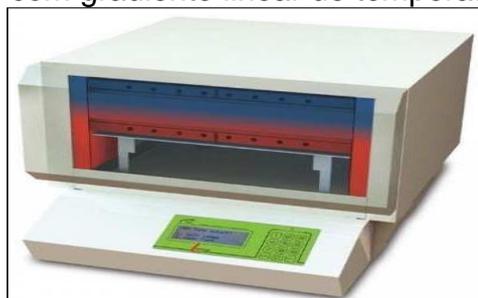
Os ensaios dos primeiros compósitos foram realizados entre 28 e 30 dias de cura à temperatura ambiente, após a determinação do melhor compósito foi possível realizar todas as medições da mistura com CA e PA saturadas aos 28 dias de cura, e posteriormente aos 91 e 92 dias de cura à temperatura ambiente e sob ciclos de

molhagem e secagem.

O equipamento utilizado para o ensaio de condutividade térmica foi o *LaserComp*, modelo FOX 304 (Figura 19). A faixa de temperatura que o equipamento consegue determinar está estabelecida entre -20°C e 75°C . A precisão da temperatura é de $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ e a condutividade térmica absoluta tem precisão de $\pm 2\%$.

Para a execução do ensaio a amostra é colocada entre duas placas, e um gradiente de temperatura de 10°C à 35°C é programado. Efetuando as configurações do ensaio o equipamento determina automaticamente a espessura das placas e inicia o procedimento de leitura através de quatro codificadores ópticos, sendo um em cada canto dos pratos. O gradiente linear de temperatura pode ser observado na Figura 19, onde a configuração do equipamento durante o ensaio é ilustrada.

Figura 19 – Equipamento com gradiente linear de temperatura



Fonte: Pachla, 2017.

O instrumento utiliza a técnica de estado estacionário para a condutividade térmica, sendo que a medição do fluxo de calor é projetada especificamente para materiais isolantes, como definido pelas normas ASTM C518/2015 e ISO 8301/1991. A placa foi posicionada entre dois pratos com uma diferença de temperatura definida em 25°C (ΔT) através da amostra. A espessura da amostra (L) foi ajustada automaticamente. O fluxo térmico (Q/A) médio, sendo “ Q ” o calor de cada prato e “ A ” a área de contato da amostra com cada prato, foi utilizado para calcular a condutividade térmica (λ) de acordo com a Lei de Fourier.

A condutividade térmica dos compósitos foi determinada através da média de três amostras. A Tabela 11 apresenta os valores médios de cada compósito com o respectivo tratamento estatístico.

Tabela 11 – Condutividade térmica dos compósitos

	Condutividade térmica (W/m.K)	Desvio Padrão (W/m.K)	Variância	Coefficiente de Variação (%)
Traço Referência	0,2756	0,0131	1,73E-04	4,77
Traço 5.1	0,3009	0,0168	2,82E-04	5,58
Traço 5.2	0,2591	0,0200	3,48E-04	7,20
Traço 5.3	0,2247	0,0169	2,87E-04	7,53
Traço 10.1	0,2574	0,0234	5,46E-04	9,08
Traço 10.2	0,2606	0,0100	2,00E-04	5,43
Traço 10.3	0,2390	0,0082	6,68E-05	3,42
Traço 15.1	0,2563	0,0190	3,60E-04	7,40
Traço 15.2	0,2549	0,0228	5,22E-04	8,96
Traço 15.3	0,2133	0,0186	3,47E-04	8,73

Fonte: Pachla, 2017

Os dados de condutividade térmica foram correlacionados à massa específica do concreto no estado endurecido, ao comprimento da PA e à porcentagem da PA utilizadas. Todas as correlações foram feitas com as amostras individuais dos compósitos com a presença de palha. As massas específicas utilizadas para o cálculo foram obtidas através das amostras utilizadas para medição da condutividade térmica, ao contrário dos valores encontrados nas demais análises, onde a MEE foi obtida através das amostras cilíndricas. Na tabela 12 está apresentado o coeficiente de correlação de Pearson para condutividade térmica.

Tabela 12 – Coeficiente de correlação de Pearson para condutividade térmica

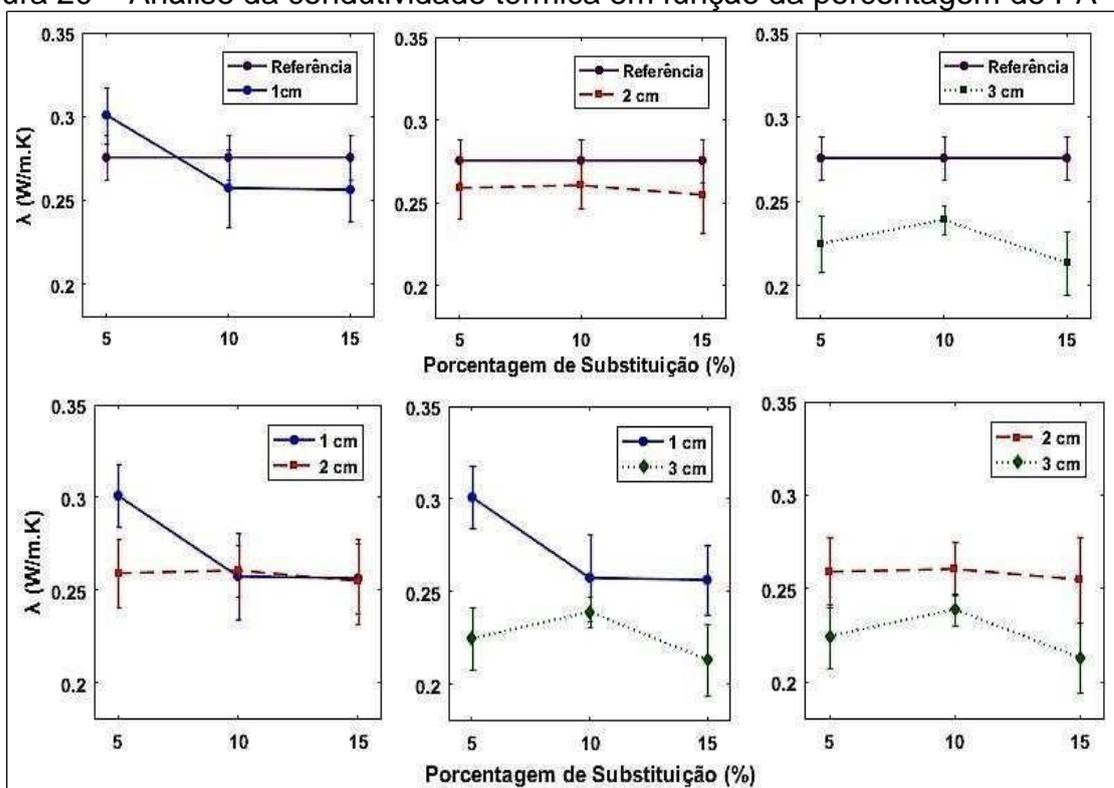
Fatores	Valor de P	eficiente de Pearson
MEE X Condutividade Térmica	0,0054	0,5200
Porcentagem de PA X Condutividade Térmica	0,1354	-0,2948
Comprimento de PA X Condutividade Térmica	1,169x10 ⁻⁴	-0,6737

Fonte: Pachla, 2017

Pachla (2017) observou que ao nível de 0,05 o comprimento de PA teve correlação com a condutividade térmica - sendo inversamente proporcional e de moderada a forte - e a massa específica no estado endurecido obteve correlação de moderada a forte, sendo essa diretamente proporcional em relação à condutividade. A porcentagem de palha foi o fator com menor influência na condutividade térmica, segundo a análise do autor.

A correlação entre a massa específica no estado endurecido e a condutividade térmica apresentada na Tabela 12 caracterizada por sua proporcionalidade, pode ser consequência da água presente na estrutura interna do compósito, principalmente nas fibras da CA e da PA. Visto que dentro do mesmo traço obteve-se pequenas variações de massa específica e de condutividade térmica, o coeficiente de correlação de Pearson acompanhou a tendência de que quanto mais leve for o material, menor a condutividade térmica. As Figuras 20 e 21 relacionam a condutividade térmica em função da porcentagem e do comprimento da PA respectivamente

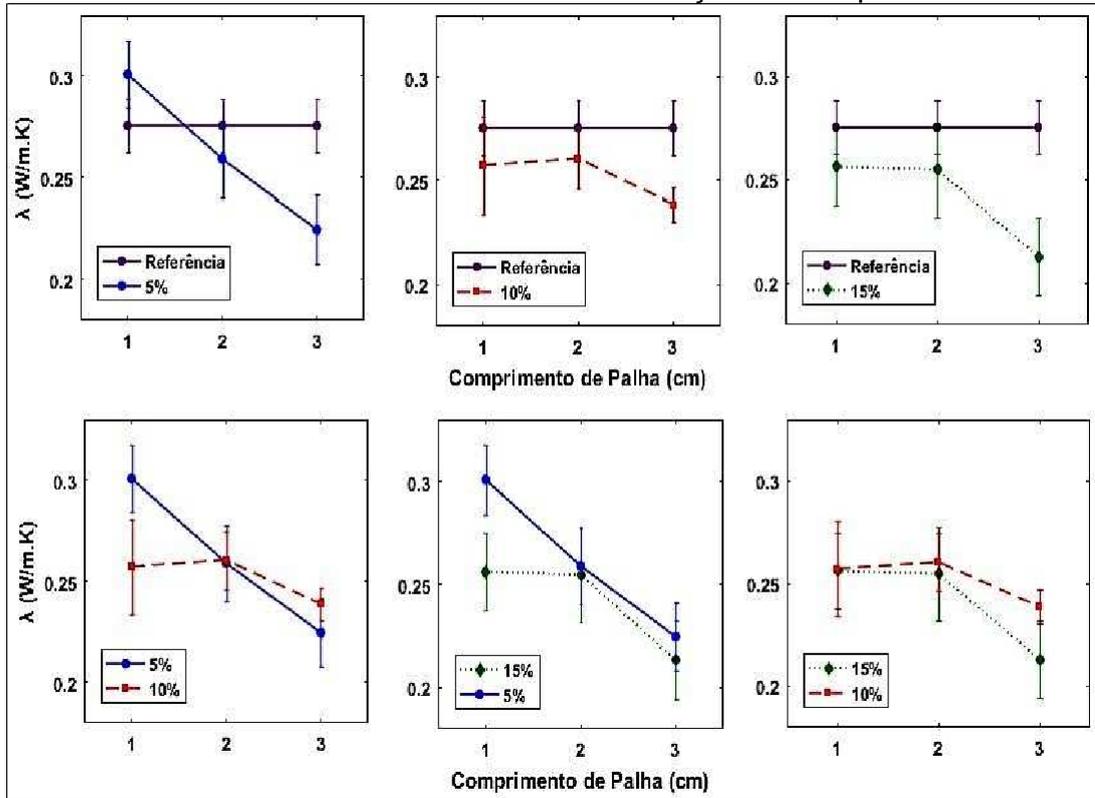
Figura 20 – Análise da condutividade térmica em função da porcentagem de PA



Fonte: Pachla, 2017

Com exceção do T5.1, todos os compósitos com PA obtiveram melhor desempenho térmico que o Traço Referência. Além disso, na Figura 21 nota-se a correlação entre o comprimento de palha e a condutividade térmica indicada na Tabela 24, onde há uma certa linearidade na redução da condutividade das curvas em função do aumento do comprimento de PA. Já na Figura 20 a maioria dos valores se sobrepõem, indicando a baixa correlação entre esse fator e os resultados encontrados.

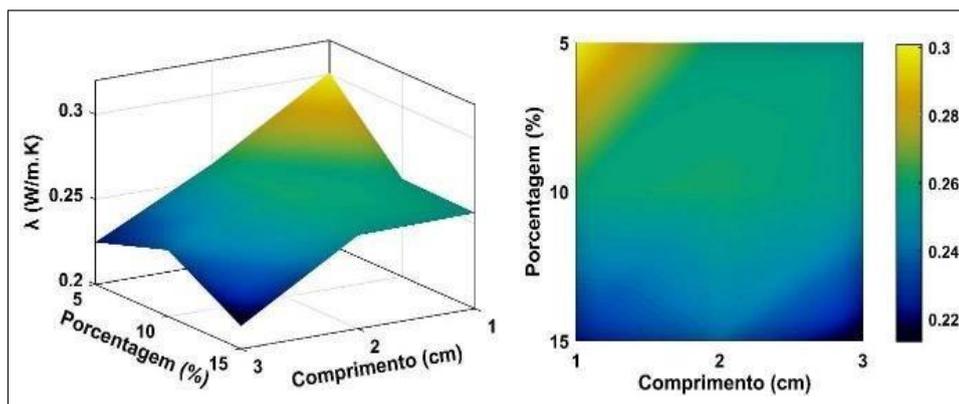
Figura 21 - Análise da condutividade térmica em função do comprimento da PA



Fonte: Pachla, 2017

Uma vez que para os resultados de condutividade térmica a palha do arroz teve grande significância, foi feita uma superfície de resposta (Figura 22) para melhor entender as tendências de condutividade térmica em função das duas características estudadas da palha.

Figura 22 – Superfície de resposta para condutividade térmica



Fonte: Pachla, 2017

A superfície de resposta indica queda da condutividade principalmente com o aumento do comprimento. Já com o aumento da porcentagem, o autor concluiu que

é mais difícil de estabelecer a mesma relação.

Com todas as correlações devidamente explicitadas, foi determinado se a diferença dos valores era realmente significativa pela análise das variâncias (ANOVA) pelo método de Tukey com confiança de 95%. Os resultados obtidos pela aplicação dos testes de Tukey apresentam diferenças significativas apenas para os comprimentos de palha de 1 e 3 cm e 2 e 3cm. Os comprimentos de 1 e 2 cm não apresentam diferença significativa.

Observa-se que as diferentes porcentagens de palha não alteraram significativamente os resultados de condutividade térmica. Esse fator ocorreu, possivelmente, porque nos casos em que houve menor quantidade de PA, a CA foi responsável por constituir o mesmo volume de vazios, uma vez que a quantidade total de fibra vegetal (CA + PA) foi a mesma para todos os compósitos. No entanto, é difícil afirmar que em caso de adições de maiores quantidades de PA não exista diferença significativa nos resultados de condutividade térmica. Sabe-se que para fazer essa verificação é necessário testar amplitudes maiores que os 10% utilizados nesta pesquisa.

Já na análise em função do comprimento da palha, observa-se que a partir da incorporação de PA com 3 cm, a condutividade térmica começa a ter resultados significativamente diferentes, os quais - conforme as análises de correlação, dos gráficos de curvas e da superfície de resposta - são melhorados em função do aumento do comprimento da PA. Os resultados de condutividade térmica estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Condutividade térmica dos compósitos

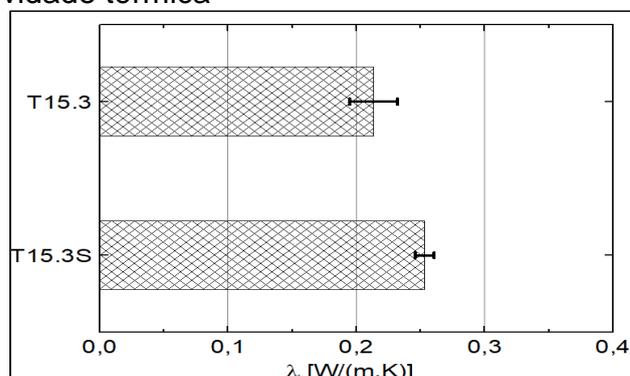
Traço	Condutividade térmica (W/m.K)	Desvio Padrão (W/m.K)	Variância	C.C (%)
T15.3	0,2133	0,0186	3,47E-04	8,73
T15.3S	0,2530	0,0075	5,57E-05	2,95
T15.3S-91 dias	0,2132	0,0065	4,25E-05	3,06
T15.3S-Ciclos	0,2002	0,0182	3,33E-04	9,11

Fonte: Pachla, 2017

Os resultados apresentados numericamente pela Tabela 13 são ilustrados nas figuras subsequentes. As análises foram feitas primeiramente através da comparação entre o T15.3 e o T15.3S com cura de 28 dias à temperatura e umidade ambiente. A

Figura 23 ilustra um gráfico para melhor visualização dos desempenhos:

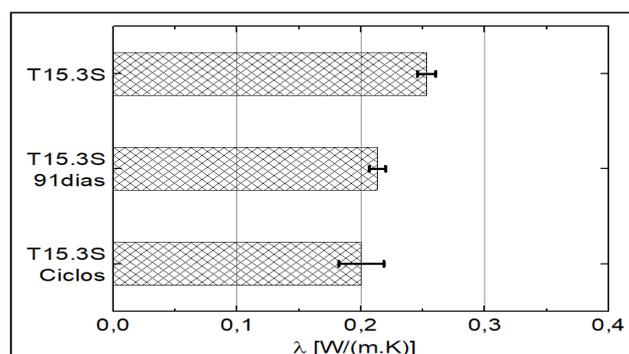
Figura 23 – Condutividade térmica



Fonte: Pachla, 2017

Após os 28 dias de cura o T15.3S - com casca e palha do arroz saturadas - obteve uma condutividade térmica significativamente superior ao T15.3. A justificativa para esse valor está provavelmente na presença de água na estrutura interna das amostras, uma vez que com a adição da CA e da PA saturadas houve um grande acréscimo de água nos materiais. Assim, para ter uma noção mais exata da causa desse aumento é necessário realizar comparações com as amostras em idades superiores, pois com o passar do tempo a tendência é que a água, presente principalmente nas fibras vegetais, seja extraída. Diante disto, a Figura 24 ilustra essa comparação:

Figura 24 - Condutividade térmica X idade e da metodologia de cura



Fonte: Pachla, 2017

Para confirmar a hipótese de que a presença de água foi responsável pelo acréscimo da condutividade térmica nas primeiras idades, é possível verificar (Figura 25) que aos 91 dias de cura a condutividade térmica foi reduzida significativamente e obteve um resultado estatisticamente semelhante ao T15.3.

Apesar de estimar que a saturação da palha e da casca do arroz não teve influência significativa no desempenho térmico, segundo o autor é incorreto afirmar isso com exatidão, uma vez que um estudo com idades superiores ou secagem em forno por maior tempo pode ser necessário para retirada de maior quantidade de água da estrutura interna, o que poderia acarretar em uma mudança de desempenho térmico, em todos os casos diminuindo a condutividade térmica. Mesmo assim, é evidente a melhora do desempenho térmico obtido com a incorporação de CA e PA no Concreto Celular, tanto em comparação com o concreto Celular convencional quanto em comparação ao Traço Referência, ambos com valor de $0,2420 [W/(m.K)]$ e $0,2756 [W/(m.K)]$ respectivamente.

O autor concluiu que a incorporação da casca e da palha reduziu a condutividade térmica dos compósitos, neste caso, quanto maior a dimensão da palha melhor foi o desempenho térmico.

4.2.3 Caracterização mecânica, térmica e acústica de um compósito que utiliza rejeitos de mármore, granito, EPS para a fabricação de blocos para a construção civil

Tese submetida à Universidade Federal do Rio Grande do Norte para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Mecânica por Natanaeyfle Randemberg Gomes dos Santos, no ano de 2014.

Para a realização deste trabalho foram moldados blocos vazios e blocos com recheio de garrafas pet para fins comparativos de desempenho com a alvenaria tradicional, com tijolos de oito furos.

O compósito proposto foi obtido utilizando-se variações de proporções de cimento, pó de mármore/ pó de granito, gesso, isopor e areia. Água foi acrescida na proporção aproximada de 50% do volume seco, para a realização da mistura e homogeneização do compósito. A quantidade de cada constituinte misturado foi medida em volume para maior facilidade de operação, realizado através de um recipiente de volume conhecido.

Foram utilizados pedaços de isopor recolhidos em lojas de vendas de eletrodomésticos que foram triturados por uma máquina montada no LMHES (Laboratório de Máquinas Hidráulicas e Energia Solar).

Os resíduos de mármore e granito foram coletados de empresas localizadas

em uma marmoraria da cidade de Natal e de duas na cidade de Parnamirim no Rio Grande do Norte. Os resíduos foram gerados após processo de corte e polimento de peças de granito e mármore, em meio aquoso,. O resíduo constitui-se de uma lama densa que após a secagem é chamada de “lama de pó de mármore/granito”. A secagem dos resíduos foi feita a céu aberto, e em seguida a lama seca foi peneirada malha de 4,8 mm.

Inicialmente foram realizados ensaios padrão de compressão com diversas proporções de misturas, variando-se a proporção de cimento, pó de mármore/granito, gesso, isopor, areia e água, sendo avaliados o custo e a resistência, com a verificação em seis amostras de cada para se uma média do comportamento do material. A Tabela 14 apresenta as composições estudadas inicialmente.

Tabela 14 - Composições iniciais

Mistura	Composição
1	1C + 1CAL+ 3A
2	1C + 1 G +1RM+ 2A
3	1C + 1 G +1RMG+ 2A
4	1C + 1 G +1ISO +1RM+ 1A
5	1C + 1 G +1 ISO +1RM+ 2A
6	1C + 1 G +1RM
7	1C + 1 G +1RMG
8	1C + 1 GES +3RMG
9	1C + 1 GES +3RM
10	1C + 1 GES +1RM +1RMG+ 1A
11	1C + 1CAL+ 6 ^a

Legenda: C-cimento; G- gesso; ISSO- Isopor; RM –Resíduo de pó de mármore; RMG- Resíduo de pó de mármore/granito; A- areia.

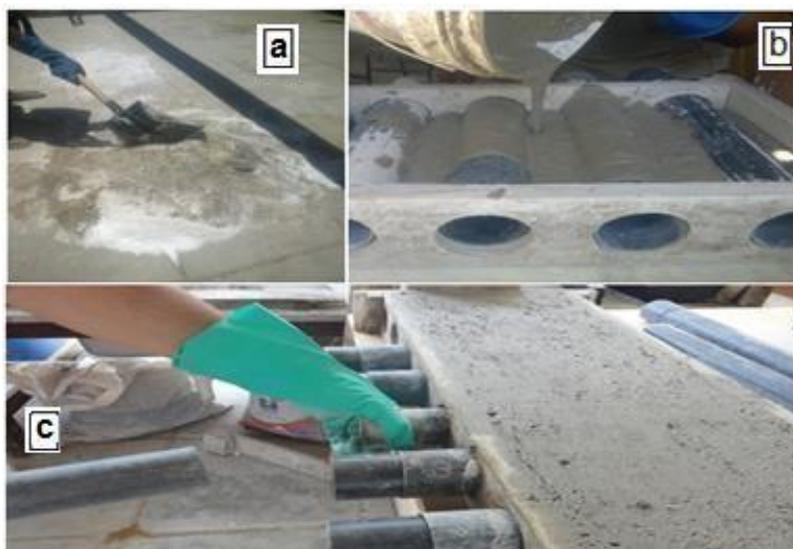
Fonte: Santos, 2014

Após o ensaio de resistência mecânica, o autor optou por utilizar as formulações 1C + 1G + 1ISO + 1RM + 2A e 1C + 1G + 1RMG + 2^a para a fabricação dos blocos.

A fabricação dos cerca de quinhentos blocos foram realizadas no Laboratório de Maquinas Hidráulica e Energia Solar do DEM/CT/NTI/UFRN. Depois de fabricados, os blocos foram transportados ao local da edificação, no bairro da Redinha em Natal/RN. A Figura 25 mostra algumas das etapas do processo de fabricação dos

blocos tipo 1 onde se percebe os detalhes do acoplamento entre os canos de PVC.

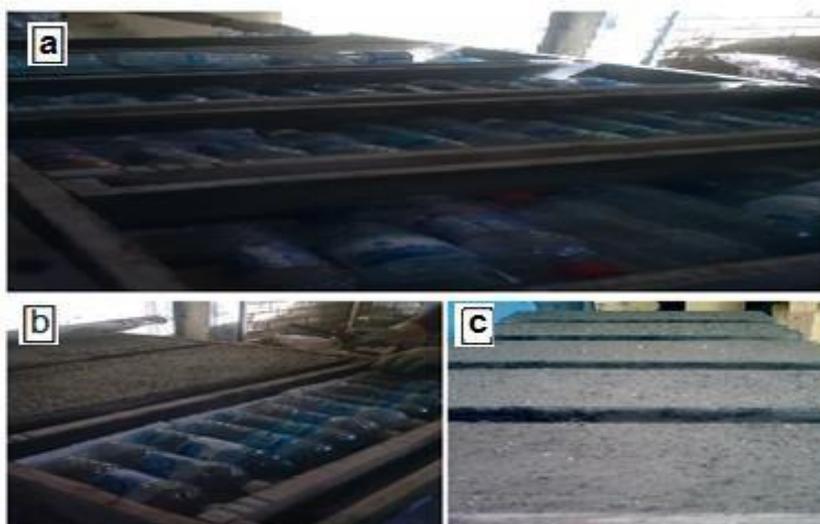
Figura 25 - Etapas do processo de fabricação dos blocos com vazios tipo a) Mistura dos materiais, b) Aplicação do compósito no molde, c) Retirada dos canos do molde.



Fonte: Santos, 2014

A Figura 26 mostra algumas etapas do processo de fabricação dos blocos com recheio de garrafas PETs e a Figura 27 mostra um bloco do tipo 2 já fabricado, onde se destaca o recheio de garrafas PETs.

Figura 26 - Etapas do processo de fabricação do bloco tipo 2 .a) molde preenchido com garrafas, b) molde com blocos e preenchido com garrafas, c) molde com blocos pronto.



Fonte: Santos, 2014

Figura 27 - Bloco tipo 2 já fabricado, destacando-se o tipo de recheio utilizado.

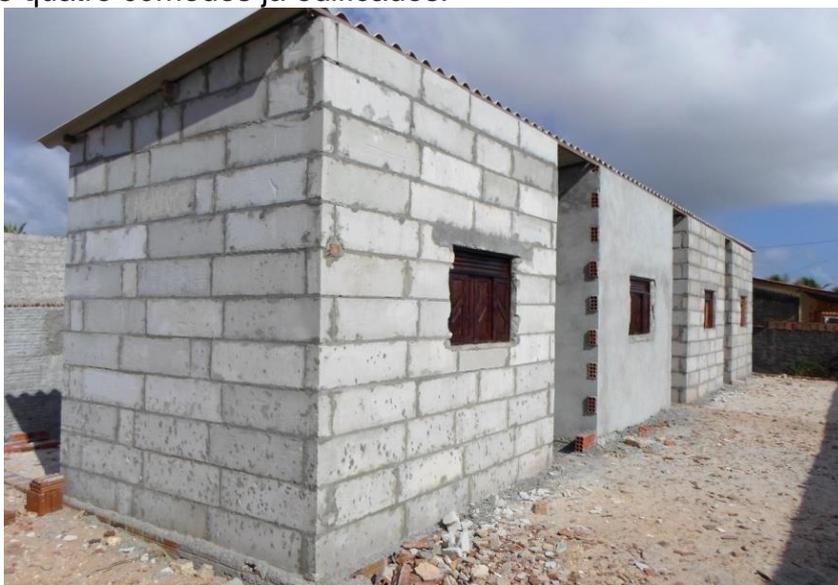


Fonte: Santos, 2014

A construção dos cômodos experimentais utilizando os blocos de compósito se materializou com o mesmo processo construtivo de uma unidade habitacional convencional, sendo realizada a fim de demonstrar a sua aplicabilidade como habitação mantendo os critérios aplicados a construção civil.

Foram construídos quatro cômodos, com a seguinte configuração: cômodo 1 – utilizando-se blocos tipo 1 e resíduos de pó de mármore e isopor triturado; cômodo 2 - utilizando-se tijolos de oito furos; cômodo 3 – utilizando-se blocos do tipo 2 com resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado; cômodo 4 – com blocos tipo 1 e resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado (Figura 28).

Figura 28. Os quatro cômodos já edificadas.



Fonte: Santos, 2014

A união entre os blocos para todos os cômodos foi feita com argamassa convencional para assentamento, com os blocos do tipo 1 e 2 recebendo a argamassa nas extremidades e na largura do bloco.

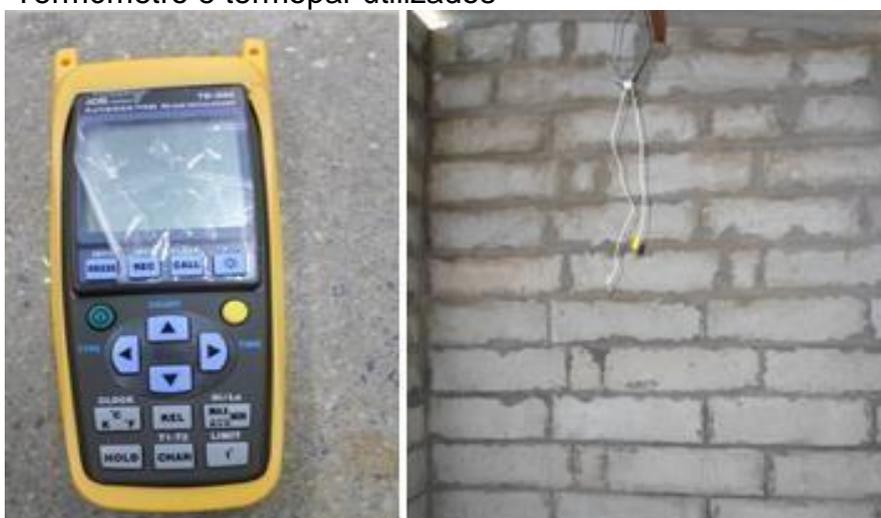
Após as etapas de construção de todos os cômodos foram colocadas a porta e a janela e as edificações cobertas com telha de fibro-cimento, sem amianto.

Todos os cômodos possuíam área interna de 7,8 m² (3,00 m x 2,60 m) e a altura das paredes variava entre 2,20 m lado oeste e 2,40 m lado leste. Em virtude da facilidade de transporte e menor custo escolheu-se como cobertura telhas de fibrocimento, sem amianto.

Para a análise do desempenho térmico foram realizadas medições com portas e janelas abertas e fechadas. Não houve movimentação de pessoas além dos próprios medidores e também não havia aparelhos capazes de produzir calor em seu interior. A coleta de dados foi realizada em dias com boas condições solarimétricas, no final de 2013 e início de 2014.

Foram fixados termopares, tipo K, na região central da unidade habitacional a 1,5 metro de altura em relação ao piso. Os termopares do tipo cromel-alumel foram conectados a um termômetro digital para a medida da temperatura do ambiente interno, como mostrado na Figura 29.

Figura 29 – Termômetro e termopar utilizados



Fonte: Santos, 2014

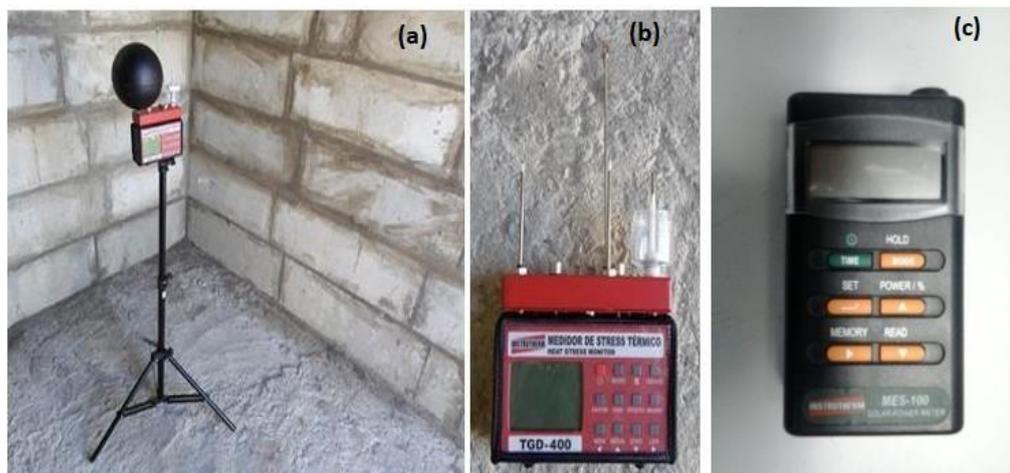
A aquisição dos dados nas paredes foi realizada manualmente, por meio de um termômetro de infravermelho, da marca HIGHMED HM-88C, com leitura manual posicionado sobre a parede a uma distancia de 0,1 m conforme mostra a Figura 31. As temperaturas foram medidas de 08h00min as 14:00min.

As temperaturas das superfícies interna e externa da telha foram medidas com um termômetro infravermelho também a cada trinta minutos. Foram medidas em três pontos de ambas as superfícies.

Um medidor de stress térmico Instrutherm, fez registro dos seguintes parâmetros meteorológicos, entre oito e quatorze horas, a cada meia hora: temperatura do ar interno, velocidade do vento, temperaturas de bulbo úmido e seco, obtendo-se com esses dois últimos parâmetros a umidade relativa do ar.

A radiação solar global foi medida com um radiômetro Instrutherm mostrado na Figura 30.

Figura 30 - (a) e (b) Medidor de Stress Térmico utilizado na pesquisa e (c) Radiômetro Instrutherm.



Fonte: Santos, 2014

A Tabela 15 apresenta os resultados do ensaio de condutividade térmica para as duas formulações com resíduos testadas.

Tabela 15 - Resultados de K do compósito estudado

Amostra	DB	DC	C	EB	EC Média Wm/K	
RMG 1	0,33	0,33	0,34	0,32	0,32	0,33
RMG 2	0,34	0,33	0,35	0,35	0,35	0,35
RMG 3	0,35	0,34	0,36	0,35	0,36	0,35
Média						0,34 ± 0,01
RM 1	0,45	0,46	0,49	0,41	0,42	0,45
RM 2	0,49	0,43	0,46	0,48	0,46	0,46
RM 3	0,44	0,45	0,44	0,43	0,45	0,44
Média						0,45 ± 0,01

Legenda:

DB: Ponto de medição com sensor direita abaixo do compósito DC: Ponto de medição com sensor direita acima do compósito C: Ponto de medição com sensor no centro do compósito

EB: Ponto de medição com sensor esquerda abaixo do compósito EC: Ponto de medição com sensor esquerda acima do compósito

Fonte: Santos, 2014

A condutividade térmica média do compósito com resíduos com pó de mármore foi 32,3% maior que a relativa ao que utiliza resíduos de pó de mármore/granito.

Com relação a comparação entre os materiais de construção mais comumente usados, tijolos de 8 furos e blocos de concreto, a condutividade térmica do compósito na formulação escolhida foi muito mais baixa, sendo 62% mais baixa para os resíduos de mármore/granito e 80% mais baixa em relação aos blocos de concreto, o que demonstra a viabilidade de produção de um maior conforto térmico dos blocos de compósito, por proporcionarem uma maior resistência térmica.

A condutividade térmica dos compósitos com resíduos de pó de mármore e pó de mármore/granito através das médias de valores encontrados se aproximou bastante da condutividade expressa das placas de gesso e inferior aos dos tijolos, comprovando que os mesmos comportam-se como materiais com maior isolamento.

Na Tabela (15) pode-se observar que a condutividade térmica do compósito com RPM é maior em 32% em relação ao compósito que utiliza RMG.

Após se comprovar que o material compósito produzido apresentava condutividade térmica bem menor que os materiais de construção convencionais, bloco de concreto e tijolo de oito furos, foram realizados os ensaios pretendendo-se

comprovar que os blocos que foram utilizados para a edificação dos cômodos propiciavam maior conforto térmico no seu interior. Para esse diagnóstico foram medidas as temperaturas externas e internas das paredes e a temperatura do ambiente interno de cada cômodo.

Para uma análise comparativa é imprescindível que todos os cômodos estejam sujeitos às mesmas condições ambientais e solarimétricas. O autor percebeu que as temperaturas das superfícies externas do cômodo construído com tijolos convencionais de oito furos foram sempre maiores que as dos cômodos alternativos, devido a uma maior absorvidade da radiação solar em função da cor e do material da parede, que foi rebocada. Da mesma forma, as temperaturas das paredes internas do cômodo convencional foram sempre superiores as das paredes do cômodo com blocos alternativos, porém devido a maior absorvidade da parede rebocada ficou comprometida a análise comparativa.

Porém a análise comparativa entre os cômodos alternativos pode ser feita, e como a condutividade do material composto é bem menor, entende-se que o conforto térmico propiciado pelos blocos que edificaram os cômodos é maior.

As Tabelas e gráficos a seguir apresentam o comportamento assumido pelos parâmetros medidos durante os testes para diagnóstico de conforto térmico. Serão analisadas as duas configurações adotadas: porta e janela abertas e fechadas.

Serão analisadas as duas configurações adotadas: porta e janela abertas e fechadas.

a. Configuração Portas e Janelas Abertas

A tabela 16 apresenta os resultados das paredes leste e oeste, respectivamente.

Tabela 16 - Médias de temperatura e diferença de temperatura na parede leste e oeste com portas e janelas abertas.

	Parede Leste	Parede Oeste	Parede Leste	Parede Oeste	Parede Leste	Parede Oeste
Cômodos	T _{pext} (°C)	T _{pext} (°C)	T _{pint} (°C)	T _{pint} (°C)	ΔT (°C)	ΔT (°C)
1	38,80	35,50	33,20	41,50	5,60	6,00
2	41,30	35,40	34,00	43,40	7,30	8,00
3	40,60	36,00	34,00	42,50	6,60	6,50
4	40,60	33,50	33,50	40,60	7,10	7,10

Onde:

Cômodo 1 – construído com blocos maciços e resíduos de pó de mármore e isopor triturado. Cômodo 2: cotruído com tijolos de 8 furos.

Cômodo 3: construído com blocos com recheio de garafas PET e resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado.

Cômodo 4: construído com blocos maciços e resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado

Fonte: Santos, 2014.

Como já foi ressaltado a análise comparativa com o cômodo de tijolo ficou um pouco prejudicada em função das cores diferentes entre os cômodos, com paredes de cor mais forte para o cômodo construído com os tijolos convencionai de oito furos. Isso é comprovado pela maior temperatura da externa da parede leste.

Outro fator a ser considerado é que devido ao cômodo 1 situar-se numa esquina a incidência de vento é maior nesse cômodo, o que pode ser verificado pela temperatura menor da superfície externa da parede analisada.

Com relação à análise comparativa entre blocos com vazios e blocos com garrafas, houve uma supremacia de resistência térmica para os que têm vazios para a parede leste ensolarada no período da manhã.

b. Configuração portas e janelas fechadas

A tabela 17 apresenta os resultados das paredes leste e oeste, respectivamente.

Tabela 17 - Médias de temperatura e diferença de temperatura nas paredes leste e oeste com portas e janelas fechadas

Cômodos	parede Leste		parede Oeste		parede Leste		parede Oeste	
	T _{pext} (°C)	T _{pint} (°C)	T _{pext} (°C)	T _{pint} (°C)	ΔT (°C)	ΔT (°C)	ΔT (°C)	ΔT (°C)
1	32,10	34,80	38,80	41,10	6,70	6,30		
2	33,00	36,10	39,90	43,30	6,90	7,20		
3	32,50	35,50	39,60	41,40	7,10	5,90		
4	33,20	34,20	39,70	40,90	6,50	6,70		

Onde:

Cômodo 1 – construído com blocos maciços e resíduos de pó de mármore e isopor triturado. Cômodo 2: cotruído com tijolos de 8 furos.

Cômodo 3: construído com blocos com recheio de garafas PET e resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado.

Cômodo 4: construído com blocos maciços e resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado

Fonte: Santos, 2014

Na parede oeste o comportamento da parede externa do cômodo de tijolos repetiu-se, uma maior absorção de radiação e uma maior temperatura do lado externo. Em relação a comparação entre os blocos, para essa parede que tem exposição à radiação apenas a tarde o de melhor comportamento em termos de resistência térmica foi proporcionado pelos blocos com recheio de vazios.

Analisando a média das temperaturas internas e externas das duas paredes dos cômodos expostas à radiação para a configuração com portas e janelas abertas percebeu-se que entre os cômodo alternativos os com vazios com variação de temperatura de 7,10 °C é o que apresenta um a maior resistência térmica, o que permite- nos supor que propiciará um maior conforto térmico.

Em relação as paredes internas esse mesmo cômodo foi o que apresentou menor temperatura e em relação a temperatura externa o cômodo com os tijolos convencionais foi o que apresentou maior temperatura em função da absortividade de suas paredes, o que induziu a uma maior diferença de temperatura entre as superfícies externas e internas do cômodo.

Todos os cômodos construídos com os blocos de material compósito tiveram comportamento idêntico em relação a resistência térmica, podendo, portanto, proporcionar igualmente conforto térmico.

Percebeu-se que as temperaturas das paredes oeste, interna e externa, foram

sempre superiores as das paredes leste, em função de que o percentual de iluminação solar nas paredes leste diminui ao longo da manhã, o que não acontecia com as paredes oeste em que a partir do meio dia acontecia sempre um aumento da área ensolarada. A menor incidência de vento e o acúmulo de calor proporcionado pelo aquecimento das outras paredes também influenciam a maior temperatura verificada na parede oeste.

Em relação a temperatura ambiente no interior de cada cômodo os resultados médios obtidos encontram-se mostrados na Tabela 18.

Tabela 18 - Temperatura do interior de cada cômodo configurações fechada e aberta

CÔMODOS	Configuração fechada	Configuração aberta
	T _{pint} (°C)	T _{pext} (°C)
1	32,60	30,5
2	33,40	30,80
3	32,80	30,50
4	32,60	30,60

Onde:

Cômodo 1 – construído com blocos maciços e resíduos de pó de mármore e isopor triturado. Cômodo 2: cotruído com tijolos de 8 furos.

Cômodo 3: construído com blocos com recheio de garafas PET e resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado.

Cômodo 4: construído com blocos maciços e resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado

Fonte: Santos, 2014

Observou-se que a temperatura média interna de cada cômodo construído com os blocos de material compósito, para vazios e recheio na configuração com portas e janelas fechadas, é praticamente a mesma. O cômodo construído com tijolos de oito furos convencionais apresentou temperatura interna mais elevada, da ordem de 2,5%.

Por esses dados percebeu-se que todos os cômodos apresentavam comportamento similar e não se pode afirmar que os cômodos construídos com os blocos ofereçam maior resistência térmica que o cômodo convencionalmente construído.

Para essa configuração mais uma vez observa-se comportamento similar em relação a temperatura média interna de cada cômodo, não havendo supremacia de resistência térmica dos blocos fabricados em material compósito em relação ao tijolo convencional de oito furos.

Apesar dessa similaridade percebeu-se que a sensação térmica mais

confortável foi proporcionada pelos blocos com recheios de garrafas PETs, o que representa um fator ecologicamente positivo, uma vez que a utilização de inúmeras garrafas Pets provocam a retirada de materiais danosos ao meio ambiente.

De acordo com o autor, os blocos produzidos têm a vantagem de não necessitarem de reboco, o que diminui o custo de mão de obra da edificação. Além disso o tempo para edificar a construção também é menor, em função da maior área dos blocos. Ressalte-se que para uma nova construção deve-se reduzir o comprimento dos blocos para permitir ainda maior agilidade do processo construtivo.

As Tabelas a seguir apresentam os resultados das propriedades medidas com o medidor de stress térmico.

A Tabela 19 apresenta os valores da temperatura efetiva(ST) para todos os cômodos edificadas.

Tabela 19. Valores calculados da temperatura efetiva (ST) para todos os cômodos.

	SENSAÇÃO TÉRMICA (°C)			
	Cômodo 1	Cômodo 2	Cômodo 3	Cômodo 4
09:00	27,80	28,50	28,30	28,40
11:00	28,80	29,10	28,60	28,50
13:00	29,00	29,20	28,80	28,90

Onde:

Cômodo 1 – construído com blocos maciços e resíduos de pó de mármore e isopor triturado. Cômodo 2: cotruído com tijolos de 8 furos.

Cômodo 3: construído com blocos com recheio de garafas PET e resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado.

Cômodo 4: construído com blocos maciços e resíduos de pó de mármore/granito e isopor triturado

Fonte: Santos, 2014

As sensações térmicas medidas foram praticamente iguais, com melhor condição de conforto nos cômodos fabricados com o material compósito proposto. Seriam necessários uma maior quantidade de dias de testes para uma melhor análise da sensação térmica. Pela observação sensorial e pelas medições efetuados o Cômodo 3, com recheios de garrafas PETs é o que apresentou uma melhor condição de conforto térmico.

A Tabela 20 apresenta os valores das propriedades para análise de conforto térmico para os dois compósitos utilizados, com resíduo de pó de mármore e com resíduo de pó de mármore/granito.

Tabela 20 - Resumo de propriedades calculadas para os compostos RM e RM/G

Medições	Compósito RPM	Compósito RMG
Transmitância térmica W/m ² K	2,17	2,56
Atraso térmico (h)	9,00	8,52
Fator Solar (%)	1,73	2,05

Fonte: Santos, 2014

Percebeu-se a supremacia do compósito com pó de mármore, com uma capacidade menor de transmitir o calor recebida da radiação solar, um tempo maior para transmitir o calor e um menor percentual de transmissão do calor recebido, porém a diferença entre essas propriedades para os dois tipos de compostos é pouco significativa, o que evidencia a viabilidade de utilização de ambos para a fabricação de blocos para a construção civil.

4.2.4 Conclusões sobre os trabalhos com foco na sustentabilidade

Nesse tópico será realizado um fechamento das pesquisas que utilizaram materiais alternativos em sua composição, buscando alternativas sustentáveis e o aproveitamento de materiais, em geral descartados, na construção civil. O Quadro 9 expõem os trabalhos selecionados e os resultados obtidos pelos autores.

Quadro 9: Resultados de desempenho térmico das pesquisas selecionadas de acordo com as recomendações normativas da NBR 15575:2013

TÍTULO	AUTOR	RESULTADOS
RESISTÊNCIA, DENSIDADE E DESEMPENHO TERMOACÚSTICO DO CONCRETO COM ESPUMA DE POLIESTIRENO (EPS) APLICADO ÀS CONSTRUÇÕES	Wolff, P. S. (2008) Paraná	Desempenho térmico satisfatório
DESEMPENHO TÉRMICO-ACÚSTICO-MECÂNICO DE UM COMPÓSITO DE MATRIZ CIMENTÍCIA LEVE REFORÇADO COM CASCA DE ARROZ	Pachla, E. <i>et al</i> (2019)	Desempenho térmico satisfatório
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, TÉRMICA E ACÚSTICA DE UM COMPÓSITO QUE UTILIZA REJEITOS DE MÁRMORE, GRANITO E EPS PARA A FABRICAÇÃO DE BLOCOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL	Santos, N.R.G (2014) Natal	Desempenho térmico satisfatório.

Fonte: Autor, 2020.

Wolff (2008) analisou diversas formulações de concreto com espuma de

polietileno expandido (EPS), concluindo que quanto maior o teor de substituição de brita pelo EPS, maior a resistência térmica do compósito. O autor conferiu esse resultado ao fato da espuma de poliestireno apresentar muitos vazios, que dificultaram a troca de calor por condução.

Pachla (2017) analisou diversas formulações de compósitos acrescidos de casca e palha de arroz, utilizando composições com casca de arroz para os ensaios de condutividade térmica. O autor concluiu que o acréscimo deste material reduziu a condutividade térmica dos compósitos, demonstrando que o aumento no teor de substituição de palha de arroz na mistura não é tão eficiente quanto a dimensão da palha, verificando que, quando maior a dimensão da palha, entre as dimensões analisadas, melhor o desempenho térmico do concreto.

Santos (2014) pesquisou compósitos com rejeitos de mármore, granito e EPS, utilizando blocos maciços deste material e blocos ocos e recheados com garrafas PET, em comparação à alvenaria tradicional com tijolos de 8 furos. Observou que todos os materiais comparados apresentam igual resistência térmica, porém os compósitos com rejeitos de mármore, granito e EPS apresentam condutividade térmica mais baixa do que alvenaria tradicional. Os blocos oco, recheados de garrafas pet proporcionaram uma sensação térmica mais confortável que os demais.

Todos os trabalhos analisados indicaram que os materiais alternativos tem sua utilização viável na construção civil no que se refere ao desempenho térmico. Todos apresentaram resultados iguais ou superiores aos materiais tradicionais. Levando e conta a demanda atual por soluções sustentáveis, torna-se interessante a busca de alternativas utilizando materiais de descarte disponíveis na região.

4.3 Trabalhos com foco no uso de materiais alternativos visando a melhoria do desempenho térmico

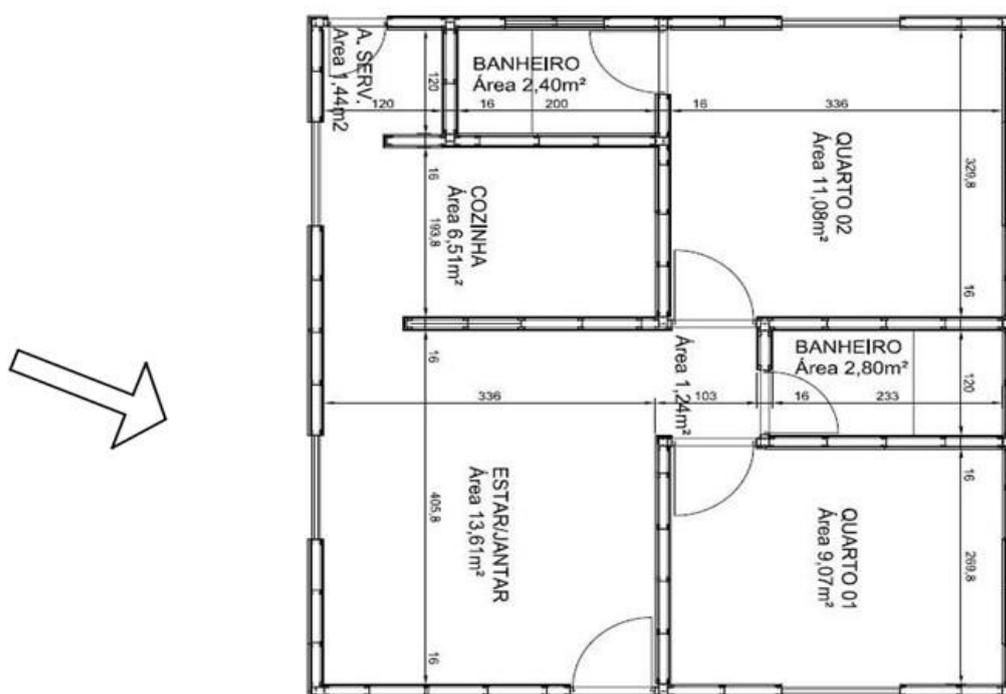
4.3.1 Conforto termoacústico de uma habitação de baixo custo

Tese de Pós Graduação apresentada à Universidade de São Paulo por Conceição Maria Pinheiro Correia em 2009.

A construção da casa experimental, localizada na cidade de São Carlos, estado de São Paulo, se materializou pela adaptação das placas do novogesso ao sistema construtivo “*Light Steel Frame*”, a fim de se demonstrar as potencialidades do material e sua aplicabilidade às habitações de interesse social. Tanto o custo de construção como a viabilidade técnica foram investigados pelo autor visando futura industrialização dos componentes, mantendo-se os critérios de sustentabilidade aplicados à construção civil.

O sistema construtivo empregado utilizou a estrutura metálica do tipo “*Light Steel Frame*” para fixação das placas de novogesso e para cobertura as telhas asfálticas tipo “Shingle”. O novogesso foi desenvolvido no LCM-IFSC-USP e contou com a participação da empresa Inovamat Ltda para a confecção das placas do novogesso de alta resistência, nas dimensões 60 x 1 20 x 1,5 cm³ e também para a construção da habitação experimental. A figura 31 apresenta a planta baixa da casa.

Figura 31 - Planta baixa da casa experimental de placas do novogesso.



Fonte: Correia, 2009.

Cada ambiente foi projetado com a área mínima, dentro da modulação necessária para que os mesmos fossem utilizados com eficiência e conforto. A inclinação do forro acompanhando a inclinação do telhado, na sala de estar, cozinha e área de serviço, foi escolhida para aumentar o volume do ambiente com o conseqüente aumento da circulação do ar. Isto contribui para o conforto térmico e também proporciona uma sensação visual mais agradável. Ao utilizar o forro inclinado, o aumento de volume foi na ordem de 25% em relação ao volume proporcionado pelo forro horizontal. A menor altura a partir do piso acabado, denominado pé direito, foi da ordem de 2,40 metros, medida padrão das habitações populares.

Os dormitórios, também projetados como os demais ambientes, posteriormente foram designados para testar uma variação do material - placas do Novogesso oriundo do fosfogesso - para certificação de seu uso na construção civil pela CNEN. Portanto, nos dormitórios todo revestimento das paredes e forro foi constituído por placas de fosfogesso. Neste caso foi utilizado forro horizontal visando facilitar e tornar mais realista os estudos.

O projeto utilizou fundação tipo radier (figura 32) e estruturas metálicas tipo “*Light Steel Frame*”. A cobertura foi constituída de treliças de aço, painel OSB e telhas asfálticas tipo “*Shingle*”.

Figura 32 - Detalhe da fundação tipo radier e início da colocação dos perfis metálicos para compor estrutura da parede.



Fonte: Correia, 2009.

A estrutura portante das paredes conhecida como estrutura metálica do tipo “*Light Steel Frame*” utiliza perfis de chapa dobradas em aço galvanizado, com ligações

feitas por parafusos galvanizados auto atarraxantes. Os perfis horizontais são chamados de guias (perfil U 92x38x0,95 mm) e os perfis verticais são chamados de montantes (perfil U enrijecido 88x38x13x0,95 mm). Essa estrutura metálica é de rápida execução e montagem, podendo ser montada *in loco* ou dentro de uma fábrica e depois transportada para o local da obra.

As placas pré-fabricadas de Novogesso 60 x 120 x 1,5 cm³, que fazem o fechamento das paredes foram parafusadas em barrotes de madeira e estas nos perfis da estrutura metálica “*Light Steel Frame*”, recobrem externa e internamente a estrutura metálica.

Nos espaços vazios das paredes foram colocadas mantas isolantes de fibras de polipropileno ou fibras de tecidos, formando uma espécie de sanduíche, por onde passam todas as instalações prediais da habitação. Além das mantas resta entre as placas um espaço vazio no qual flui uma corrente ascendente de ar que contribui para o conforto térmico e renovação do ar no interior da residência. As instalações são montadas antes do fechamento total das paredes, evitando assim recortes posteriores à fixação das placas (figura 33). O fechamento interno do telhado, ou seja, o forro, foi feito com placas do Novogesso nos dormitórios e gesso acartonado “*dry wall*” nos demais compartimentos.

Figura 33 - Detalhe da posição das mantas isolantes termoacústicas e das instalações elétricas nos espaços vazios entre as placas do Novogesso.



Fonte: Correia, 2009.

A cobertura é constituída por telhas asfálticas tipo “*Shingle*”, painel OSB e treliça para pequenos vãos. As telhas asfálticas são fixadas nos painéis OSB que são

sobrepostos a treliça. O painel OSB é impermeabilizado pela colocação de uma manta asfáltica entre a telha e o painel. A estrutura portante desse tipo de cobertura é objeto de uma patente requerida pela Inovamat “Telhado treliçado para pequenos vãos”. Essa estrutura é composta por treliças espaciais de aço CA-50 e painéis OSB (Oriented Strand Board), combinação que resultou numa estrutura capaz de sustentar as telhas e também resistir à ação do vento sobre a habitação. Esse telhado é de rápida montagem, leve e não utiliza madeira nobre, apenas madeira de reflorestamento. A parte inferior da estrutura portante do telhado, a treliça, é preparada para receber qualquer tipo de forro, independente de quais sejam. Ver detalhe da cobertura com telhas “Shingle” e sua ampliação na figura 34.

Figura 34. Detalhe da cobertura; Detalhe das telhas “shingle”.



Fonte: Correia, 2009.

Os painéis OSB são estruturas de tiras de madeira, distribuídas em forma de camadas cruzadas, para aumentar sua estabilidade e resistência, unidas entre si por resina fenólica aplicada sob alta pressão e temperatura.

Assim como nas paredes, o telhado possui um espaço vazio entre o painel de OSB e o forro que conectam o ambiente interno com o externo, formando um sistema de ventilação natural. As paredes externas foram lixadas e pintadas com tinta à base de água (látex). Na sala de estar as paredes receberam acabamento em papel de parede. Nos ambientes úmidos como a cozinha e área de serviço, as paredes receberam uma película plástica (PVC) estampada, similar ao papel de parede. Nas paredes dos banheiros, foram utilizadas placas de polipropileno reciclado. Os dormitórios não receberam acabamento (figura 35).

Figura 35. Detalhe das paredes sem acabamento do quarto 2.



Fonte: Correia, 2009.

O piso cerâmico foi utilizado nos ambientes úmidos (cozinha área de serviço e banheiros). Nos ambientes secos (sala de estar e dormitórios) foi utilizado carpete, colado diretamente sobre a laje radier nivelada.

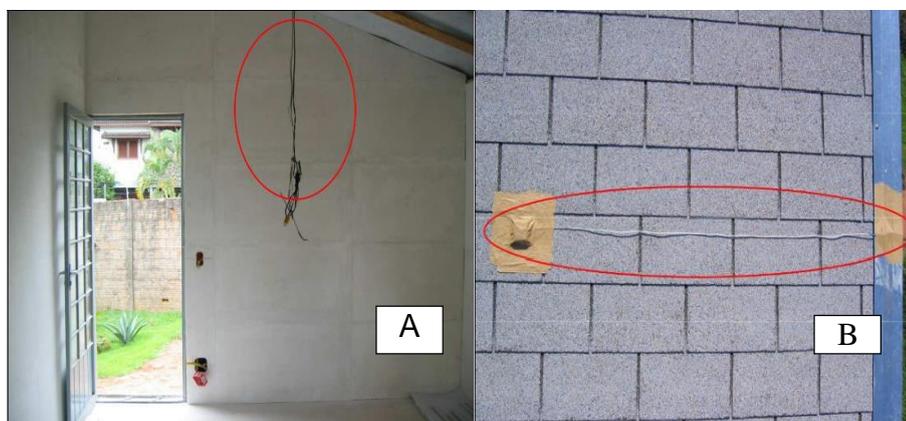
As esquadrias externas são convencionais do tipo metalon e as internas dos banheiros e dormitórios, são portas convencionais de madeiras do tipo sanduíche com batentes de madeira.

A coleta de dados para análise de desempenho térmico foi realizada através da colocação de termopares, tipo K, na região central dos ambientes da casa a 1,50 m de altura em relação ao piso. Termopares também foram fixados às paredes a 1,50 m do piso, na parte interna e externa, nos locais de maior incidência de raios solares. No forro os sensores foram colocados logo abaixo da cobertura, ora em contato com os painéis OSB e ora em contatos com as mantas isolantes. Na cobertura esses sensores foram colocados diretamente em contato com a telha “Shingle” em várias posições. Foram colocados sensores na área externa no centro da área livre. Durante a coleta dos dados várias situações foram criadas: a) medições com todas as portas e janelas internas e externas abertas; b) todas as portas e janelas internas e externas fechadas; c) todas as portas e janelas externas fechadas e as portas entre os ambientes abertas. Em certas situações durante a coleta de dados houve circulação de pessoas no ambiente e aquelas em que não havia movimentações de pessoas. É importante ressaltar que no momento da coleta não havia aparelhos elétricos, lâmpada ou qualquer tipo de equipamento, capazes de produzirem calor em seu interior. Em uma situação real de uso, esses dispositivos e alguns utensílios domésticos podem elevar significativamente a temperatura interna dos ambientes.

A coleta de dados foi realizada diariamente, em horários de picos de

temperatura, em todos os meses do ano, durante dois anos: 2006 e 2007. No primeiro ano a construção encontrava-se na fase de conclusão (com circulação de pessoas) e no segundo ano a obra estava concluída (sem circulação de pessoas). A figura 36 – a e b, ilustra o monitoramento de temperatura na sala de estar e acima da cobertura, respectivamente.

Figura 36 – a) Monitoramento da temperatura da sala de estar. b) Monitoramento da temperatura acima da cobertura



Fonte:Correia, 2009

A habitação experimental em estudo foi monitorada durante todos os meses do ano e os valores da temperatura coletados no seu interior demonstraram que os intervalos de desconforto foram mínimos, tabelas 21 e 22. As horas de desconforto são aquelas que estão fora dos limites de temperaturas da zona de conforto, que está compreendida entre 18 e 29 °C, nas horas de menor e maior pico da temperatura externa do ar. Ou seja, a temperatura obtida dentro da habitação experimental estava entre 25 e 29°C em meses mais quentes e 18 e 22^o C em meses mais frios, sem o uso de dispositivos de aquecimento e resfriamento.

Tabela 21 - Temperaturas médias mensais dos ambientes da habitação experimental – Janeiro a junho,2006/ 2007.

Ambientes	Temperatura (0C)					
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho
Estar/jantar	25	29	26	24	22	23
Quarto 01	25	27	27	25	24	24
Quarto 02	26	26	27	26	25	26
Cozinha	25	27	28	24	23	25
Ar livre	32	32	33	27	26	30

Fonte: Correia, 2009

Tabela 22 - Temperaturas médias mensais dos ambientes da habitação experimental – julho a dezembro, 2006/ 2007.

Ambientes	Temperatura (0C)					
	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Estar/jantar	17	24	25	26	29	28
Quarto01	17	23	26	27	27	27
Quarto 02	18	25	27	28	26	26
Cozinha	17	23	26	26	27	27
Ar livre	16	26	35	34	32	33

Fonte: Correia, 2009

Após o monitoramento da habitação em todos os meses do anos, o autor obsevou que os dados coletados demonstraram intervalos de desconforto mínimos A temperatura dentro da habitação se manteve entre 25 e 29°C em meses mais quentes e 18 e 22^o C em meses mais frios, sem a utilização de dispositivos de aquecimento ou resfriamento.

De acordo com os valores obtidos para o desempenho térmico, o autor concluiu que as placas do novo gesso já podem ser consideradas elementos construtivos e que contribuem fortemente para o conforto térmico das construções. No caso da habitação experimental proposta neste trabalho os resultados do monitoramento comprovam a afirmativa acima.

4.3.2 Desempenho termoacústico de uma unidade básica de saúde construída em light steel framing

Trabalho e Conclusão de Curso apresentado à UNIFOR-MG por Delton Lúcio Sena Rodrigues em 2015.

Foi tomado como foco deste estudo uma Unidade Básica de Saúde (UBS), totalmente construída no modelo construtivo Steel Frame (Figura 37). O terreno possui área total de 1.666,00 m², com dimensões de 49,00 x 34,00 m, localizada no município de Candeias - MG. A edificação possui área total de 440,81 m².

Figura 37 - Fachada norte da UBS analisada no município de Candeias – MG.



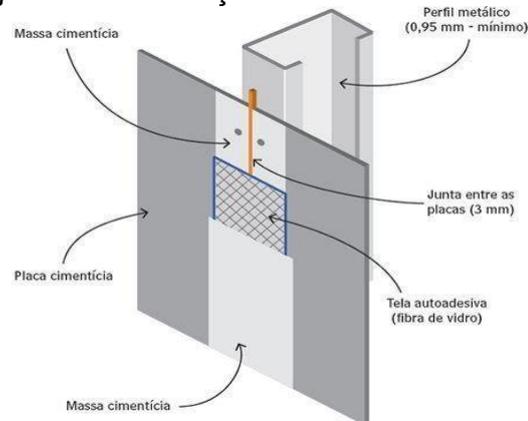
Fonte: Arquivo da Prefeitura Municipal de Candeias/MG, 2015

O sistema LSF é muitas vezes confundido com o sistema de placas de gesso para Drywall. O que difere um sistema do outro é que no LSF há a presença de perfis de aço galvanizado que formam toda a estrutura do sistema.

A edificação foi construída com fundação tipo radier, com telhado inclinado, utilizando perfis galvanizados. O fechamento externo foi feito com placa cimentícia, compatível com o sistema LSF, por serem leves, de pequena espessura, impermeáveis, resistentes aos impactos, baixa condutividade térmica, durabilidade, permite diversos acabamentos.

Na Figura 38 pode-se observar o detalhe do espaçamento de 3 mm entre as placas cimentícias e a tela autoadesiva usada para esconder as juntas com a utilização de massa sobre a tela.

Figura 38- Detalhe das juntas de dilatação invisíveis



Fonte: Técnica, 2012

Para fechamento interno dos painéis estruturais e não estruturais, são utilizadas placas de gesso acartonado. Para painéis internos não estruturais é usado o sistema “Drywall”, também constituído dos perfis U e Ue, de menor dimensão, que suportam apenas o peso dos fechamentos, revestimentos e peças fixadas como quadros, armários, etc. As chapas de gesso acartonado são vedações leves, pois não possuem função estrutural, porém permitem composições de acordo com as necessidades de resistência à umidade, fogo e isolamento acústico (FREITAS, 2006).

Para a medição térmica *in loco* foi utilizado um termo-higrômetro de precisão modelo HT-7020 da marca ICEL (Figura 39).

Figura 39 - Termo-higrômetro usado nas medições térmicas.



Fonte: Rodrigues, 2015

As medições térmicas foram feitas em três dias: 03, 04 e 07 de setembro de 2015. A temperatura externa foi medida, em um ponto próximo à parede externa da área, respeitando a distância de 0,50 m. Em seguida foram realizadas medições nos pontos internos, onde, para cada ponto, o limite de tempo mínimo para estabilização da temperatura foi de 20 s.

Após a medição de todos os pontos da área, a temperatura externa foi novamente medida para realização da média da temperatura externa. É importante ressaltar que para as medições térmicas a NBR 15575 estabelece que as esquadrias da edificação estejam abertas, para que se possa aproximar de

Os dados da área 1 foram coletados em 3 dias, em período de 08 a 16:30 horas e os resultados obtidos pelo autor são apresentados na tabela 23.

Os dados obtidos nas medições térmicas na Área 1 da UBS avaliada, são apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Dados das medições térmicas da Área 1 da UBS construída em LSF.

Data	03/09/2015			04/09/2015			07/09/2015			Média		
Horário	8:00	12:30	16:17	7:58	12:34	16:26	8:00	12:37	16:29	8:00	12:30	16:30
Temperatura externa												
Inicial	24,3	32,2	31,8	23,3	34,6	32,8	23,8	25,1	24,8	23,8	30,6	29,8
1	24,8	31,7	31,9	23,2	34,9	32,8	23,8	25,2	25,0	23,9	30,6	29,9
2	24,9	31,6	32,1	23,3	34,7	32,9	24,0	25,3	24,9	24,1	30,5	30,0
3	25,0	31,5	32,2	23,2	34,5	32,8	24,2	25,3	24,8	24,1	30,4	29,9
4	25,0	31,5	32,2	23,1	34,4	32,8	24,2	25,4	24,7	24,1	30,4	29,9
5	25,0	31,6	32,3	23,2	34,2	32,7	24,1	25,4	24,7	24,1	30,4	29,9
6	25,0	31,6	32,3	23,3	34,1	32,7	24,1	25,4	24,8	24,1	30,4	29,9
7	25,1	31,6	32,3	23,3	33,6	32,7	24,2	25,4	24,8	24,2	30,2	29,9
8	25,0	31,5	32,3	23,2	33,4	32,7	24,1	25,3	24,7	24,1	30,1	29,9
9	25,0	31,5	32,3	23,3	33,4	32,6	24,2	25,3	24,7	24,2	30,1	29,9
10	25,1	31,5	32,3	23,3	33,4	32,6	24,2	25,3	24,5	24,2	30,1	29,8
Horário	8:10	12:36	16:25	8:04	12:39	16:32	8:07	12:43	16:35			
Temperatura externa final												
	24,5	31,7	31,9	23,5	34,5	32,7	23,8	24,9	24,7	23,9	30,4	29,8
							Média da temperatura externa			23,9	30,5	29,8

Fonte: Rodrigues, 2015

Os resultados das medições térmicas da Tabela 23 e a comparação das temperaturas internas com a externa mostram que o desempenho térmico da área 1 é insuficiente, pois está abaixo do desempenho mínimo estabelecido pela NBR 15575 (ABNT, 2003). A norma estabelece que seja pego o máximo valor de temperatura no interior para comparar com o máximo valor externo. Sendo assim, verifica-se que a temperatura interna está 0,1°C acima da externa.

A Tabela 24 apresenta os resultados das medições na segunda área de coleta de dados, onde foram seguidos os critérios para as medições conforme o Procedimento 2 – Medição *in loco*, da NBR 15575-1 (ABNT, 2003).

Tabela 24 – Resultados das medições térmicas da Área 2 da UBS construída em LSF.

Data	03/09/2015		04/09/2015		07/09/2015		Média							
Horário	8:12	12:38	16:28	8:07	12:40	16:33	8:09	12:45	16:37	8:00	12:30	16:30		
Temperatura externa														
Inicial	23,6	31,7	32,7	23,2	33,9	33,2	23,2	25,4	24,1	23,3	30,3	30,0		
1	23,5	31,4	33,1	23,6	33,4	33,4	23,4	25,7	24,5	23,5	30,2	30,3		
2	23,8	31,5	33,2	23,8	33,6	33,6	23,7	25,8	24,7	23,8	30,3	30,5		
3	24,0	31,7	33,4	23,9	33,6	33,8	23,8	25,9	25,0	23,9	30,4	30,7		
4	23,9	31,7	33,0	23,9	33,3	33,8	23,9	26,0	25,0	23,9	30,3	30,6		
5	23,9	31,7	32,9	23,9	33,3	33,7	23,9	26,0	24,9	23,9	30,3	30,5		
Horário	8:20	12:43	16:35	8:10	12:44	16:36	8:14	12:49	16:42					
Temperatura externa final														
	23,1	31,7	32,9	23,7	33,3	34,0	23,6	25,9	24,8	23,5	30,3	30,6		
											Média da temperatura externa	23,4	30,3	30,3

Fonte: Rodrigues, 2015

Pela análise da Tabela 24, tem-se que na área 2, assim como na primeira área de medições, o desempenho térmico também está abaixo do mínimo exigido pela norma, onde a máxima temperatura interna está 0,4°C acima da máxima externa.

Os dados das medições térmicas da Área 3 da UBS construída em LSF são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25- Dados das medições térmicas da Área 3 da UBS construída em LSF.

Data	03/09/2015		04/09/2015		07/09/2015			Média			
Horário	8:23	12:45 16:37	8:11	12:46 16:38	8:15	12:50 16:43	8:00	12:30 16:30			
Temperatura externa											
Inicial	24,9	33,5 32,7	23,7	35,8 33,7	23,2	25,6 24,3	23,9	31,6 30,2			
1	25,7	33,5 32,5	24,2	35,8 33,4	23,4	26,1 24,4	24,4	31,8 30,1			
2	26,4	33,1 32,7	24,2	35,8 33,4	23,5	26,1 24,6	24,7	31,7 30,2			
3	27,3	33,2 32,7	24,5	35,7 33,4	23,6	25,5 24,7	25,1	31,5 30,3			
4	28,3	33,2 32,7	24,6	35,4 33,4	23,7	25,7 24,7	25,5	31,4 30,3			
5	28,5	33,2 32,7	24,7	35,3 33,3	23,8	25,6 24,9	25,7	31,4 30,3			
Horário	8:29	12:50 16:42	8:14	12:50 16:43	8:20	12:56 16:48					
Temperatura externa final											
	27,0	33,2 32,4	24,2	36,2 33,0	23,2	25,3 24,3	24,8	31,6 29,9			
									Média da temperatura externa	24,4	31,6 30,1

Fonte: Rodrigues, 2015

Na área 3 o desempenho térmico do sistema construtivo apresenta-se abaixo do mínimo. Nesta área a diferença entre a máxima temperatura interna com a máxima temperatura externa foi de 0,2°C sendo a temperatura interna maior que a externa. Dados das medições térmicas da área 4 da UBS construída em LSF são mostrados na Tabela 26.

Tabela 26 - Dados das medições térmicas da área 4 da UBS construída em LSF.

Data	03/09/2015		04/09/2015		07/09/2015			Média						
Horário	8:30	12:51	16:44	8:16	12:52	16:44	8:21	12:57	16:49	8:00	12:30	16:30		
Temperatura externa														
Inicial	26,8	32,9	32,1	24,2	34,9	32,8	23,3	24,9	23,5	24,8	30,9	29,5		
1	26,8	32,6	32,0	24,5	34,1	32,5	23,6	25,3	23,6	25,0	30,7	29,4		
2	26,8	32,7	32,1	24,6	34,2	32,6	23,8	25,4	23,6	25,1	30,8	29,4		
3	26,8	32,6	32,0	24,7	34,2	32,6	23,8	25,4	23,7	25,1	30,7	29,4		
4	26,8	32,5	32,0	24,8	34,1	32,6	24,0	25,5	23,7	25,2	30,7	29,4		
5	26,8	32,4	32,0	24,8	33,9	32,6	24,1	25,5	23,8	25,2	30,6	29,5		
6	26,7	32,3	32,0	24,9	33,9	32,5	24,1	25,6	23,9	25,2	30,6	29,5		
Horário	8:37	12:56	16:49	8:21	12:58	16:49	8:27	13:02	16:54					
Temperatura externa final														
	28,3	31,9	32,0	26,1	34,2	32,3	23,2	24,3	23,2	25,9	30,1	29,2		
										Média da temperatura externa		25,4	30,5	29,4

Fonte: Rodrigues, 2015

As temperaturas de alguns pontos internos da Área 4 apresentam valores menores que a temperatura externa, cerca de 0,6 °C de diferença, mas a norma estabelece que sejam pegos os valores de temperatura máximos, internos e externos. Esta área também não cumpre as exigências da NBR 15575 para conforto térmico, ficando a temperatura interna 0,3°C acima da externa.

A Tabela 27 apresenta os dados das medições térmicas da quinta área da UBS construída em LSF.

Tabela 27 - Dados das medições térmicas da área 5 da UBS construída em LSF.

Data	03/09/2015		04/09/2015			07/09/2015			Média			
Horário	8:39	12:57	16:50	8:22	13:00	16:50	8:28	13:03	16:56	8:00	12:30	16:30
Temperatura externa												
Inicial	28,2	32,2	31,8	26,1	34,0	32,2	23,3	24,7	23,1	25,9	30,3	29,0
1	27,7	32,2	31,6	25,8	33,7	32,1	23,5	24,9	23,1	25,7	30,3	28,9
2	27,5	32,1	31,6	25,8	33,5	32,2	23,6	25,0	23,2	25,6	30,2	29,0
3	27,5	32,1	31,6	25,8	33,3	32,2	23,8	25,2	23,4	25,7	30,2	29,1
4	27,5	32,0	31,6	25,9	33,5	32,2	23,8	25,4	23,4	25,7	30,3	29,1
5	27,4	31,9	31,6	26,1	33,5	32,1	23,9	25,5	23,5	25,8	30,3	29,1
Horário	8:44	13:01	16:54	8:26	13:04	16:55	8:32	13:07	17:00			
Temperatura externa final												
	28,4	31,8	31,5	26,3	33,8	31,9	23,7	24,8	23,0	26,1	30,1	28,8
										Média da temperatura externa		
										26,0	30,2	28,9

Fonte: Rodrigues, 2015

A área 5, nas medições realizadas no período matutino, apresentou um isolamento térmico mínimo, ficando as temperaturas internas abaixo da temperatura externa, apresentando diferença de até 0,3 °C. Segundo o autor, isso pode ser relacionado a incidência de luz solar nesta área, pois no período da manhã esta área fica voltada para a direção oeste e também há um muro de 5 metros de altura próximo a face externa da parede desta área. Nas medições no período da tarde o desempenho térmico voltou a ser abaixo do mínimo exigido pela norma, com a máxima temperatura interna 0,1°C maior que a externa.

A Tabela 28 apresenta os dados das medições térmicas na sexta área da UBS construída em LSF avaliada.

Tabela 28 - Dados das medições térmicas da Área 6 da UBS construída em LSF.

Data	03/09/2015		04/09/2015		07/09/2015			Média				
Horário	8:46	13:05	16:56	8:27	13:06	16:56	8:33	13:09	17:02	8:00	12:30	16:30
Temperatura externa												
Inicial	26,8	32,8	31,5	25,7	35,7	31,8	23,3	25,8	23,5	25,3	31,4	28,9
1	26,1	33,3	31,6	25,3	34,5	31,8	23,2	26,0	23,8	24,9	31,3	29,1
2	26,3	33,2	31,6	25,4	34,6	31,8	23,4	26,1	24,0	25,0	31,3	29,1
3	26,5	33,1	31,7	25,5	34,8	31,9	23,5	26,1	24,3	25,2	31,3	29,3
4	26,6	32,9	31,7	25,6	34,8	32,0	23,6	26,1	24,5	25,3	31,3	29,4
Horário	8:51	11:09	17:01	8:30	13:11	16:59	8:37	13:14	17:06			
Temperatura externa final												
	25,7	33,3	31,5	25,3	35,8	31,9	23,3	26,0	24,0	24,8	31,7	29,1
Média da temperatura externa										25,1	31,6	29,0

Fonte: Rodrigues, 2015

A Tabela 28 mostram que o desempenho térmico da área 6 onde no horário de 12:30 as temperaturas internas, em sua maioria, apresentaram valores menores que a temperatura externa. Segundo o autor, isso pode ser devido à localização da área na UBS e a incidência de luz solar. A Área 6 fica em um local onde há uma ventilação maior e também a presença de vegetação rasteira, gramínea, que ocasiona uma umidade relativa do ar maior.

No que diz respeito a desempenho térmico, todas as áreas apresentaram índices abaixo do mínimo estabelecido pela NBR 15575 (Quadro 8) exceto a área 6, que apresentou o nível de desempenho térmico mínimo, ficando a máxima temperatura interna 0,3°C abaixo da máxima temperatura externa.

O Procedimento 2, utilizado para as medições de desempenho térmico, leva em consideração o conjunto fachada-cobertura como um todo. No caso desta UBS, além de não atender as condições mínimas de conforto requeridas pelos usuários, ela provoca o comprometimento dos serviços prestados pelos funcionários, a saúde física e psicológica dos mesmos, provocando um aumento excessivo do consumo de energia elétrica para condicionar os ambientes. Uma possível justificativa para o caso pode ser o fato das UBSs seguirem partidos arquitetônicos e sistemas construtivos padronizados, e não levam em conta as características do clima da região ou cidade onde estão sendo implantadas, isso ocasiona um espaço que não satisfaz as

condições mínimas de conforto.

4.3.3 Conclusões sobre os trabalhos com foco em materiais alternativos

Neste tópico serão apresentados um fechamento das pesquisas selecionadas e as suas principais conclusões. O Quadro 10 apresenta um resumo dos trabalhos abordados.

Quadro 10 - Resultados de desempenho térmico das pesquisas selecionadas de acordo com as recomendações normativas da NBR 15575:2013

TÍTULO	AUTOR	RESULTADOS
CONFORTO TERMO – ACÚSTICO DE UMA HABITAÇÃO DE BAIXO CUSTO	Correia, C.M.P. (2009) São Carlos	Desempenho térmico satisfatório
DESEMPENHO TERMO-ACÚSTICO DE UMA UNIDADE BÁSICA DE SAÚDE CONSTRUÍDA EM LIGHT STEEL FRAMING	Rodrigues, D.L.S. (2015) Formiga	Desempenho térmico insuficiente

Fonte: Autor, 2020.

O sistema avaliado por Correia (2009) apresentou um desempenho térmico dentro dos padrões exigidos (NBR 15575:2013), apresentando-se como uma opção viável para habitações de baixo custo.

Já a unidade de saúde avaliada por Rodrigues (2015) apresentou desempenho térmico abaixo dos padrões exigidos. O autor salienta que esse baixo desempenho térmico pode afetar negativamente todos os usuários da edificação, pois a norma NBR 15575:2013 trata de parâmetros mínimos de desempenho para que haja conforto para os usuários.

Diante do exposto, não é possível afirmar se o sistema Ligh Steel Frame, apesar do baixo custo construtivo, é uma boa opção no que se refere ao conforto térmico. Novas pesquisas devem ser desenvolvidas para avaliar esse sistema.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou oito pesquisas organizadas em três (3) tópicos, de acordo com o foco dos estudos. O primeiro tópico analisou pesquisas relacionadas ao desempenho térmico de materiais convencionais, sendo eles alvenaria convencional e parede de concreto moldada no local. O segundo, pesquisas com foco na sustentabilidade, que utilizam materiais geralmente descartados, o caso dos estudos analisados, EPS, rejeitos de mármore e granito e casca e palha de arroz. O terceiro tópico analisou pesquisas de materiais não convencionais, buscando a melhoria do desempenho térmico, tendo como objetos de estudo uma habitação de baixo custo e uma Unidade Básica de Saúde, ambas construídas com o sistema “*Light Steel Framing*”.

Após realizar uma revisão dos trabalhos com diferentes propostas, foi possível avaliar que no que diz respeito a desempenho térmico, existem diversas opções que podem atingir desempenhos satisfatórios.

De acordo com os parâmetros na norma NBR 15575:2013, a alvenaria convencional, amplamente utilizada, apresentou um desempenho mínimo nas pesquisas analisadas, tanto na alvenaria convencional quanto na parede de concreto moldada no local. Os trabalhos com foco na sustentabilidade, utilizando materiais como rejeitos de mármore e granito, EPS e palha de arroz, buscando a produção de compósitos que possam ser utilizados de forma satisfatória na construção civil, apresentaram um desempenho térmico satisfatório. Já as edificações em *Light Steel Frame* avaliadas, apresentaram resultados em níveis mínimo e insuficiente de desempenho térmico para edificações.

Pode-se concluir, a partir dos resultados apresentados, que a utilização do concreto convencional é uma boa escolha no que se refere ao desempenho térmico de edificações, porém, deve-se levar em consideração materiais alternativos e novos métodos construtivos, já que as pesquisas constantes realizadas em meio acadêmico tem levado a resultados satisfatórios, tornando-se uma importante ferramenta para o interesse na utilização dos mesmos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575 – Partes 1 a 6: Desempenho de Edifícios Habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220 – Parte 3 (Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social): Desempenho Térmico de Edificações**, 2005.

BALTOKOSKI, P.L.C. - **Comparativo térmico e acústico entre os métodos construtivos, alvenaria convencional e parede de concreto moldada no local**. 55 fls. Monografia. (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR. Pato Branco, 2015.

BEZERRA, L. A. C. **Análise de desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com espuma de poliestireno expandido como agregado graúdo.2003**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal - RN, 2003.

BRANDÃO, R.M. **A industrialização de São Gonçalo e a Companhia Nacional de Cimento Portland**. Revista Brasileira de Geografia e Economia - Espaço e Economia. Nº 12, ano IV, 12.2018.

CORREIA, Conceição Maria Pinheiro. **Conforto termo-acústico de uma habitação de baixo custo** - Tese de Pós Graduação apresentada à Universidade de São Paulo em 2009.

FERREIRA, S.A. **Estudo do desempenho térmico e acústico nas alvenarias**. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Formiga, MG, 2015.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico: Arquitetura e Urbanismo**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

HERRERA, J. A. Q. **Quantificação e correlação das variáveis do ciclo de vida energético da edificação: energia incorporada na envolvente arquitetônica e consumo energético pelo comportamento térmico, caso de estudo: moradia**. Tese. Universidade de São Paulo, 2013.

INCROPERA. *et al.* **Fundamentos de Transferência de calor e de massa**. Editora Gen/LTC, 2008.

INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**, 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

KREITH, F.; BOHN, M. S. **Princípios de transferência de calor**. São Paulo - SP: Thomson, 2003.

LITTLEFIELD, D. **Manual do Arquiteto**: Planejamento, Dimensionamento e Projeto. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2011.

MACHADO, G.O.; GOMES, M.H.A. - **Análise de desempenho termoacústico do sistema construtivo de paredes de concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 59 p. 2019.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Disponível em: < <http://www.capacidades.gov.br/> >. Acessado em: 19 de julho 2017.

PACHLA, E.C. **Desenvolvimento de compósitos de concreto celular e casca de arroz: caracterização física, mecânica e acústica**. 2015. 1 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Alegrete-RS, 2015.

PAULA, L.S. **Utilização de resíduos de EVA como agregado graúdo em concretos**. Monografia submetida à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará - UFC, 2011.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. **Desempenho, Durabilidade e Vida Útil das Edificações**: Abordagem Geral. [Curitiba]: Revista Técnico-Científica do CREA-PR, v. 1, n. 1, 2013.

RODRIGUES, D.L.S.- **Desempenho termo- acústico de uma unidade básica de saúde construída em light steel framing** – Trabalho e Conclusão de Curso apresentado à UNIFOR-MG em 2015.

SACHT, H.M.I; ROSSIGNOLO, J.A.II; SANTOS, W.N. **Avaliação da condutividade térmica de concretos leves com argila expandida**. Revista Matéria, v. 15, n. 1, pp. 031 – 039, 2010

SANTOS, N. E. S. Meio Ambiente e a Engenharia de Produção: O Que Fazer na Era do Ambientamente Correto?. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Piracicaba, São Paulo, 1995;

SANTOS, N.R.Gs – **Caracterização mecânica, térmica e acústica de um compósito que utiliza rejeitos de mármore, granito e EPS para a fabricação de blocos de construção civil**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

SCHIMELFENIG, B; PADILHA, F; MARCO, A.F.Z; SILVA, C.V. **Estudo da utilização de agregado reciclado de borracha de pneus (ARBP) como substituição da areia natural em concretos convencionais**. 59º Congresso Brasileiro de Concreto CBC2017 - IBRACON. Out/Nov. 2017.

SILVA, G. e FERRI. R. **Análise do desempenho térmico, lumínico e acústico: Estudo do bloco J da UTFPR Campus de Pato Branco**. 2018. 79 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018;

SIQUEIRA, T.C.P.A; AKATSU, M; LOPES, J.I.E; SOUZA, H.A. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 58(2): 133-138, abr. jun. 2005.

TABALIPA, N. L.; FIORI, A. P. **Estudo do Clima do Município de Pato Branco, Paraná**. Pato Branco: (Trabalho de Conclusão de Curso) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2008.

VINAGRE, N. D. de L. *et al.* **Avaliação através do desempenho térmico de edificação verticalizada em Belém-PA**. Belém: (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Pará, 2013.

WOLFF, P.S. - **Resistência, densidade e desempenho termo-acústico do concreto com espuma de poliestireno expandido (EPS) aplicado às construções** Dissertação (Pós-Graduação) - Cascavel, PR: UNIOESTE, 2008.