



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ALESSANDRO OLIVEIRA DA SILVA

**Avaliação de parâmetros de desempenho térmico para
blocos de EPS revestidos por concreto na zona
bioclimática 6**

CATALÃO-GO

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ENGENHARIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

ALESSANDRO OLIVEIRA DA SILVA

3. Título do trabalho

AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE DESEMPENHO TÉRMICO PARA BLOCOS DE EPS REVESTIDOS POR CONCRETO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Antover Panazzolo Sarmento, Professor do Magistério Superior**, em 24/06/2021, às 19:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

Documento assinado eletronicamente por **ALESSANDRO OLIVEIRA DA SILVA, Usuário Externo**, em 25/06/2021, às 08:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do



[Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.](#)



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2160777** e o código CRC **D8989DD8**.

ALESSANDRO OLIVEIRA DA SILVA

Avaliação de parâmetros de desempenho térmico para blocos de EPS revestidos por concreto na zona bioclimática 6

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Engenharia de Operação e Processos Industriais.

Orientador: Prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmiento.

CATALÃO - GO

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Silva, Alessandro Oliveira da
Avaliação de Parâmetros de Desempenho Térmico para Blocos de EPS Revestidos por Concreto na Zona Bioclimática 6 [manuscrito] / Alessandro Oliveira da Silva. - 2021.
LXI, 61 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmento.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Engenharia e Administração, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Catalão, 2021.
Bibliografia. Apêndice.
Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Arquitetura. 2. Desempenho Térmico. 3. Sustentabilidade. 4. Zona Bioclimática. I. Sarmento, Antover Panazzolo, orient. II. Título.

CDU 658.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE ENGENHARIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 22 da sessão de Defesa de Dissertação de **ALESSANDRO OLIVEIRA DA SILVA**, que confere o título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de concentração em Engenharia de Operações e Processos Industriais.

"Banca Examinadora de Qualificação/Defesa Pública de Dissertação/Tese realizada em conformidade com a Portaria da CAPES n. 36, de 19 de março de 2020, de acordo com seu segundo artigo: Art. 2º A suspensão de que trata esta Portaria não afasta a possibilidade de defesas de tese utilizando tecnologias de comunicação à distância, quando admissíveis pelo programa de pós-graduação stricto sensu, nos termos da regulamentação do Ministério da Educação."

Ao **primeiro dia do mês de junho do ano de dois mil e vinte um**, a partir das **09 horas**, na Sala Virtual <<https://meet.google.com/hwk-yabz-mik>>, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS DE DESEMPENHO TÉRMICO PARA BLOCOS DE EPS REVESTIDOS POR CONCRETO NA ZONA BIOCLIMÁTICA 6”**. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **ANTOVER PANAZZOLO SARMENTO (PPGEP/UFG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **ANDRÉ ALVES DE RESENDE (PPGEP/UFG)**, membro titular interno, cuja participação ocorreu através de videoconferência e do Professor Doutor **ED CARLO ROSA PAIVA (PPGEC/UFG)**, membro titular externo, cuja participação ocorreu através de videoconferência. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **ANTOVER PANAZZOLO SARMENTO**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao **primeiro dia do mês de junho do ano de dois mil e vinte um**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Antover Panazzolo Sarmento, Professor do Magistério Superior**, em 01/06/2021, às 10:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ed Carlo Rosa Paiva, Coordenador de Pós-graduação**, em 01/06/2021, às 10:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andre Alves De Resende, Professor do Magistério Superior**, em 01/06/2021, às 11:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2060543** e o código CRC **992D1498**.

Referência: Processo nº 23070.023699/2021-91

SEI nº 2060543

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus queridos pais, que sempre me incentivaram na busca pelo conhecimento.

Às minhas amadas irmãs e sobrinhas o meu sincero carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

À Deus sobretudo, pelo dom da vida, por me guiar no caminho correto de ações e atos, pela incrível possibilidade de cursar o Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Catalão - GO (UFCAT), e ter a chance de conhecer novas pessoas e obter novos conhecimentos que contribuíram para meu desenvolvimento profissional, pessoal e intelectual.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Antover Panazzolo Sarmiento, pela sabedoria e paciência na qual, em sua imensa experiência acadêmica, me guiou humildemente para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Maria e Geraldo, por serem exemplo na minha vida, na busca incessante do conhecimento, e por estarem sempre presentes.

Às minhas queridas irmãs, Jaqueline e Juliana, pelo carinho e companheirismo.

Às minhas amadas sobrinhas, Gabriela e Elisa, meu motivo de querer estar sempre bem, meu esteio, minha vida.

Ao querido amigo Bruno César, da Secretaria do Curso de Pós-Graduação, pela presteza e grande cooperação.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa, em especial aos chefes da unidade Acadêmica Especial de Engenharia, professores Drs. André Alves de Resende, Antover Panazzolo Sarmiento e Marco Paulo Guimarães, pelo altivo respeito e decência no tratamento para com os estudantes deste curso de Pós-Graduação.

SILVA, A. O. **Avaliação de Parâmetros de Desempenho Térmico para Blocos de EPS Revestidos por Concreto na Zona Bioclimática 6.** 60p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Catalão, GO. 2021.

RESUMO

O propósito deste trabalho foi analisar a aplicação dos princípios de eficiência térmica para alvenarias de vedação, feito para a cidade de Itumbiara-GO; sendo que a avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser feita tanto na fase de projeto, quanto após a construção. Utilizando das normativas e de especificações que norteiam os métodos para a averiguação de desempenho térmico e eficiência energética para edificações, são consultadas normas brasileiras que apresentam orientações específicas para as diversas regiões do país e suas respectivas Zonas Bioclimáticas, as quais se destacam a NBR 15.220 (ABNT, 2005) e a NBR 15.575 (ABNT, 2013); atesta-se também o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal e a Portaria nº 18 de 2012 (RTQ-R: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência em Edificações Residenciais). Na pesquisa temos a implantação do bloco de EPS (isopor) revestido por concreto como alternativa de substituição aos tijolos convencionais, com a aplicação dos critérios térmicos específicos; os quais demonstraram a implantação de novos métodos construtivos para a cidade de Itumbiara-GO, que está inserida na Zona Bioclimática Brasileira 6; almejando melhores concepções arquitetônicas para edificações de classe popular. O desenvolvimento de um bloco de vedação alternativo para a construção civil proporciona diversificação no uso de materiais abrangendo o conceito de sustentabilidade neste ramo. Com base nos resultados obtidos verifica-se que o bloco de EPS revestido por concreto fornece melhor desempenho térmico que os blocos cerâmicos, comprovado pelas grandezas físicas calculadas que são padronizadas pelas normas vigentes e que aferem tal conceito: a resistência térmica é cerca de 205% superior ao bloco cerâmico convencional, a transmitância térmica é 67,28% inferior, a capacidade térmica total é cerca de 38% inferior, o atraso térmico é cerca de 53% superior ao bloco cerâmico e por fim, o fator solar é cerca de 67% inferior ao bloco cerâmico. Onde tais resultados comparativos comprovam a eficiência do bloco de EPS em relação ao bloco cerâmico no que tange ao desempenho térmico.

Palavras-chave: Arquitetura, Desempenho Térmico, Sustentabilidade e Zona Bioclimática.

ABSTRACT

The purpose of this work was to analyze the application of thermal efficiency principles for sealing masonry, made for the city of Itumbiara-GO; and the thermal performance evaluation of a building can be done both in the design phase and after construction. Using the regulations and specifications that guide the methods for investigating thermal performance and energy efficiency for buildings, Brazilian standards are consulted that present specific guidelines for the various regions of the country and their respective Bioclimatic Zones, which stand out as NBR 15.220 (ABNT, 2005) and NBR 15.575 (ABNT, 2013); The Casa Azul Seal of Caixa Econômica Federal and Ordinance No. 18 of 2012 (RTQ-R: Technical Quality Regulation for the Level of Efficiency in Residential Buildings) are also attested. In the research we have the implementation of the EPS block (styrofoam) coated with concrete as an alternative to replacement for conventional bricks, with the application of specific thermal criteria; which demonstrated the implementation of new construction methods for the city of Itumbiara-GO, which is inserted in the Brazilian Bioclimatic Zone 6; aiming for better architectural designs for popular class buildings. The development of an alternative fence block for civil construction provides diversification in the use of materials encompassing the concept of sustainability in this field. Based on the results obtained, it is verified that the EPS block coated with concrete provides better thermal performance than ceramic blocks, evidenced by the calculated physical quantities that are standardized by current standards and that measure this concept: the thermal resistance is about 205% higher than the conventional ceramic block, the thermal transmittance is 67.28% lower, the total thermal capacity is about 38% lower, the thermal delay is about 53% higher than the ceramic block, and finally, the solar factor is about 67 % lower than ceramic block. Where such comparative results prove the efficiency of the EPS block in relation to the ceramic block in terms of thermal performance.

Keywords: Architecture, Thermal Performance, Sustainability and Bioclimatic Zone.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zonas bioclimáticas brasileiras	18
Figura 2 - Informações sobre Itumbiara-GO segundo o programa ZBBR.....	19
Figura 3 - Blocos cerâmicos: furado (A) e maciço (B)	26
Figura 4 - Bloco de concreto	27
Figura 5 - Bloco de EPS revestido por concreto.....	28
Figura 6 - Dimensões do bloco cerâmico mais usual em Itumbiara-GO	31
Figura 7 - Descrição e propriedades da parede de alvenaria pronta, utilizando o bloco cerâmico 9,0 x 14,0 x 24,0 cm, o mais usual para o município de Itumbiara-GO	32
Figura 8 - Corte transversal do bloco de vedação com as seções para o cálculo das propriedades térmicas segundo o caso 1 do método simplificado (medidas em cm)	34
Figura 9 - Corte lateral de parte da vedação com as seções segundo o segundo caso para o método simplificado (medidas em cm).....	37
Figura 10 - Dimensões do bloco de EPS revestido por concreto (cm)	40
Figura 11 - Corte transversal do bloco de EPS revestido por concreto com as seções do caso 1 do método simplificado (medida em cm)	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados em paredes para isolamento térmico.....	29
Tabela 2 - Especificações dimensionais da parede pronta com o bloco cerâmico mais utilizado em Itumbiara-GO	32
Tabela 3 - Propriedades térmicas dos materiais do bloco de vedação mais utilizado em Itumbiara-GO.....	33
Tabela 4 - Especificação do bloco de EPS revestido por concreto pesquisado.....	40
Tabela 5 - Propriedades térmicas dos materiais do bloco de EPS revestido por concreto ...	41
Tabela 6 - Propriedades térmicas calculadas para o bloco cerâmico 9,0 x 14,0 x 24,0 cm utilizando o método simplificado	45
Tabela 7 - Propriedades térmicas calculadas para o bloco de EPS revestido por concreto de 10,0 x 43,0 x 53,0 cm utilizando o método simplificado.....	46
Tabela 8 - Transmitância térmica (U) - (W/m ² .K).....	47
Tabela 9 - Capacidade térmica (CT) - (kJ)/(m ² .K)	49
Tabela 10 - Atraso térmico (Φ) - (horas)	50
Tabela 11 - Fator solar (Fs _o) - (%)	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

α - Absortância Térmica;

ρ_n - Densidade Aparente do Material;

ϕ - Atraso Térmico;

λ - Coeficiente de Condutividade Térmica do Material;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;

A_n - Área de Seção;

c_n - Calor Específico do Material;

CT - Capacidade Térmica;

e - Espessura do Material;

EPS - Poliestireno Expandido (*Expanded Polystyrene*);

Eq. - Equação;

EVA – Etileno Acetado de Vinila;

F_{so} - Fator Solar;

GO - Goiás;

ICT - Índice de Carga Térmica;

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia;

ISO - *International Organization for Standardization*;

J - Joule;

K - Kelvin;

kg - Quilograma;

m - Metro;

MG – Minas Gerais;

NBR - Norma Brasileira;

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica;

R_a - Resistência Térmica do Ar;

R_{si} - Resistência térmica interna;

R_{se} - Resistência térmica externa;

R_t - Resistência Total do Elemento;

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais;

SVVIE - Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas;

U - Transmitância Térmica;

un. - Unidade;

UFCAT - Universidade Federal de Catalão;

UFG - Universidade Federal de Goiás;

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos;

W - Watt;

ZB - Zoneamento Bioclimático;

ZBBR - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa.....	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Geral.....	16
1.2.2 Específicos	16
CAPÍTULO 2	17
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Zonas bioclimáticas.....	17
2.2 Características termofísicas limites para as zonas bioclimáticas	20
2.2.1 Resistência térmica.....	20
2.2.2 Transmitância térmica.....	21
2.2.3 Capacidade térmica	22
2.2.4 Absortância solar	23
2.2.5 Atraso térmico.....	23
2.2.6 Fator solar	23
2.3 Métodos para calcular desempenho térmico das vedações	24
2.3.1 Método simplificado	25
2.4 Tipos de blocos para alvenaria de vedação.....	26
2.5 Blocos de EPS revestidos por concreto.....	28
CAPÍTULO 3	31
MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1 Cálculos das propriedades de um modelo de vedação com blocos cerâmicos.....	31
3.1.1 Primeiro método de cálculo da resistência térmica da parede e da transmitância térmica segundo o método simplificado	33
3.1.2 Segundo método de cálculo da resistência térmica da parede e da transmitância térmica	36
3.2 Cálculos das propriedades do modelo de bloco de EPS revestido por concreto com 10,0 x 43,0 x 53,0 cm.	40
3.2.1 Método de cálculo da resistência térmica da parede e da transmitância térmica	41
CAPÍTULO 4	45
RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 Absortância solar.....	46
4.2 Transmitância térmica	47
4.3 Capacidade térmica	48
4.4 Atraso térmico	49
4.5 Fator solar	51
CAPÍTULO 5	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS	55
APÊNDICES	60

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A eficiência energética em edificações tem como principal finalidade a economia no uso da energia sem o comprometimento do conforto da edificação, oferecendo assim, melhorias no bem-estar do local, referenciando um ambiente salubre e confortável, com o mínimo de consumo de energia. A relação consumo energético e o conforto ambiental é um tema cada vez mais relevante dentro do enquadramento da etapa do projeto de construção de edificações e da sua sustentabilidade.

O tema referido da sustentabilidade vem se tornando um tema cada vez mais presente nas atuais políticas governamentais, introduzindo um conceito relevante de conscientização ambiental na sociedade de maneira lúcida e eficiente. Sendo este um tema que vem ganhando ênfase mundialmente nos últimos anos (NIKOLOPOULOU; SCHOENEFELDT; SHERIF, 2020; FORUZANMEHR, 2019). Podem-se notar, através da mídia, diversas campanhas contra o desperdício de energia, além de surgirem todos os dias, novos equipamentos com menor consumo energético comparado aos equipamentos antigos, aumentando a eficiência energética dos mesmos.

No Reino Unido, por exemplo, estudos relacionados a edifícios de baixo consumo energético identificaram riscos de superaquecimento e o comprometimento do conforto térmico devido á métodos construtivos convencionais, que não se preocuparam com as novas demandas para o conceito de construção sustentável (HASHEMI; PROMFET, 2017). Neste sentido, segundo Buhagiar *et al.* (2014), para cumprir as estratégias europeias de desempenho energético dos regulamentos dos edifícios, é essencial definir procedimentos metodológicos eficazes para determinar o mesmo.

A adaptação de um projeto arquitetônico às novas tecnologias de materiais sustentáveis que estão sendo introduzidos no mercado de construção civil é o resultado dos estudos sobre desempenho térmico de materiais, que oferecem novas estratégias para o

desejado conforto térmico do ambiente, como observado também pelos autores Bogo e Pickler (2017).

O conforto térmico, segundo a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a, p. 6) é a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”; já para Lamberts (2016) o conforto térmico está relacionado ao estado mental que consegue expressar à satisfação do homem com o ambiente térmico ao seu entorno. A não satisfação pode ser causada pelo desconforto causado pela sensação de calor ou de frio, quando não há balanço térmico estável (JANTSCH; PIOVESAN, 2020). Essa insatisfação causada pela sensação de desconforto, pode ocasionar insalubridade ao local a ser habitado, frequentado ou visitado.

No que se refere à norma de Desempenho Térmico, a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a), o principal propósito é o estudo comportamental dos sistemas do edifício no cumprimento dos requisitos dos usuários. As exigências dos usuários que são citadas pela norma são divididas em três tópicos distintos: segurança, no que tange ao uso da edificação, à operação da mesma, ao comportamento estrutural do edifício e as prevenções e combate a incêndios; habitabilidade, no que se refere ao conforto térmico do usuário, aos critérios de salubridade, acesso e ambiente higiênico.

Ocorre que várias possibilidades de soluções para atender ao conforto térmico desejado podem ser executadas nas construções civis, as quais, nas suas particularidades, oferecem tipos específicos de desempenho térmico, soluções sustentáveis quanto ao dispêndio de energia, impactando de maneira relevante aos custos de uso. Nesse intuito se desenvolveu um estudo sobre o desempenho térmico do bloco EPS revestido por concreto e o comparando ao bloco cerâmico convencionalmente utilizado.

1.1 Justificativa

Justifica-se estudar os efeitos do comportamento térmico oferecido por blocos de EPS revestidos por concreto para uso como alvenaria de vedação para edificações, pela possibilidade de aumentar o conforto térmico e a eficiência energética de projetos para edificações, focando-se na vedação das mesmas, de forma que se possa diminuir custos com energia elétrica e melhorando a qualidade de vida de seus usuários.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Este trabalho objetivou avaliar os benefícios, em questões de eficiência térmica, gerados pelo uso de bloco de EPS revestido por concreto em substituição ao uso tradicional dos blocos cerâmicos de alvenaria; tendo como local de estudo a cidade de Itumbiara-GO, considerando a Zona Bioclimática 6 e baseando-se nas diretrizes normatizadas.

1.2.2 Específicos

- Contextualizar e abordar sobre as zonas bioclimáticas, bem como se dá o Zoneamento Bioclimático Brasileiro, e descrever as características termofísicas destas zonas;
- Destacar o método simplificado para o cálculo do desempenho térmico das vedações, apresentando os blocos cerâmicos de alvenaria e os blocos de EPS;
- Expor os cálculos de propriedades considerando, principalmente, a resistência térmica e a transmitância térmica; e
- Comparar o desempenho térmico de alvenaria de vedação, com blocos de EPS revestidos por concreto e com blocos cerâmicos de alvenaria mais usuais da Zona Bioclimática 6, tendo como local de estudo a cidade de Itumbiara-GO.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Zonas bioclimáticas

O Brasil é caracterizado pela presença de vários climas e por conta disso, a ABNT instruiu o zoneamento bioclimático brasileiro na NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c), chamada de “Desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social”. Na referida norma, o território brasileiro é dividido em oito Zonas Bioclimáticas, atribuindo o clima de cada local, classificando por zonas as regiões com características climáticas homogêneas no que se referem às médias mensais de umidade relativa do ar, temperaturas máximas e temperaturas mínimas mensais.

A Zona Bioclimática tem como intento determinar as melhores estratégias que um projeto de arquitetura para edificação deve seguir para obter conforto térmico aos seus habitantes; oferece diretrizes específicas construtivas que são recomendadas, abrangendo as características físicas para os sistemas de vedação verticais internos e externos, além de estratégias de condicionamento térmico passivo.

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro é o resultado de uma série de estudos de coletas de dados sobre: zonas de conforto térmico humano, estratégias construtivas, de condicionamento térmico passivo e dados climáticos, com o principal propósito de estabelecer critérios para promover, com garantia e segurança, o conforto térmico nas edificações habitacionais NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c). A Figura 1 ilustra tais zonas climáticas brasileiras e suas regiões de abrangência.

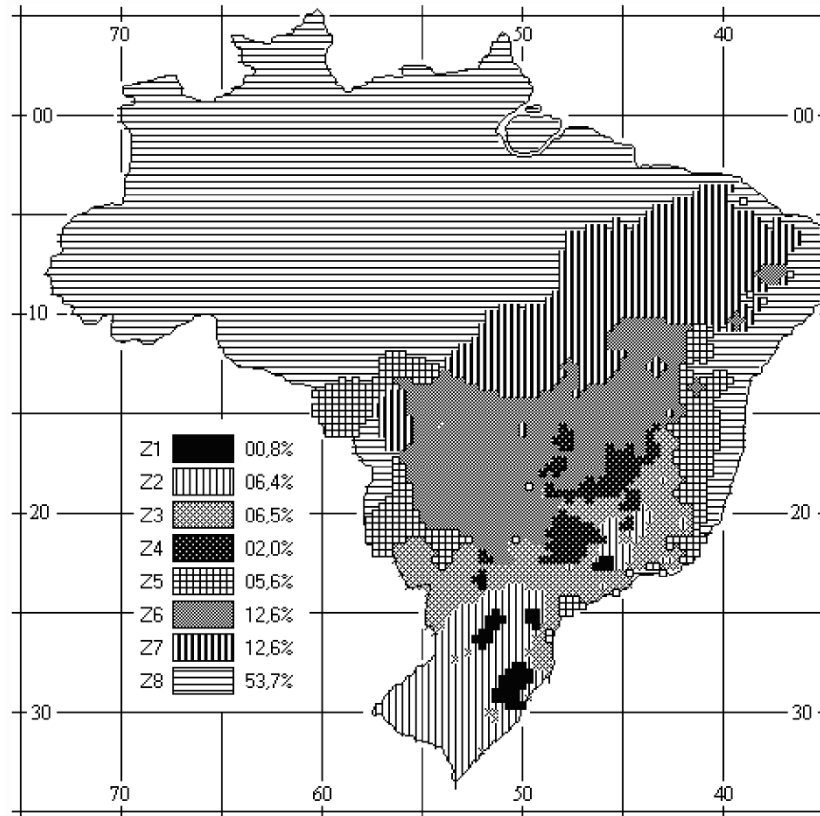


Figura 1 - Zonas bioclimáticas brasileiras

Fonte: NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c).

Conforme a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) a Zona Bioclimática tem como intento determinar as melhores estratégias que um projeto de arquitetura para edificação deve seguir para obter conforto térmico aos seus habitantes. Cada uma dessas zonas tem recomendações técnico-construtivas que aperfeiçoam o desempenho térmico das edificações através de sua melhor adequação climática e são indicadas diretrizes construtivas que tratam de estratégias de projeto térmico; orientações sobre as aberturas em relação ao seu tamanho e sombreamento necessário; as vedações externas; entre outros aspectos (BORGES; SARMENTO; CARVALHO, 2018).

Para a devida classificação da Zona Bioclimática da cidade de Itumbiara-GO foi utilizado um *software* desenvolvido pelo prof. Maurício Roriz, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), chamado ZBBR (Zoneamento Bioclimático do Brasil), o qual oferece a classificação dos municípios brasileiros, bem como as orientações construtivas, conforme a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c), tal classificação é demonstrada na Figura 2.

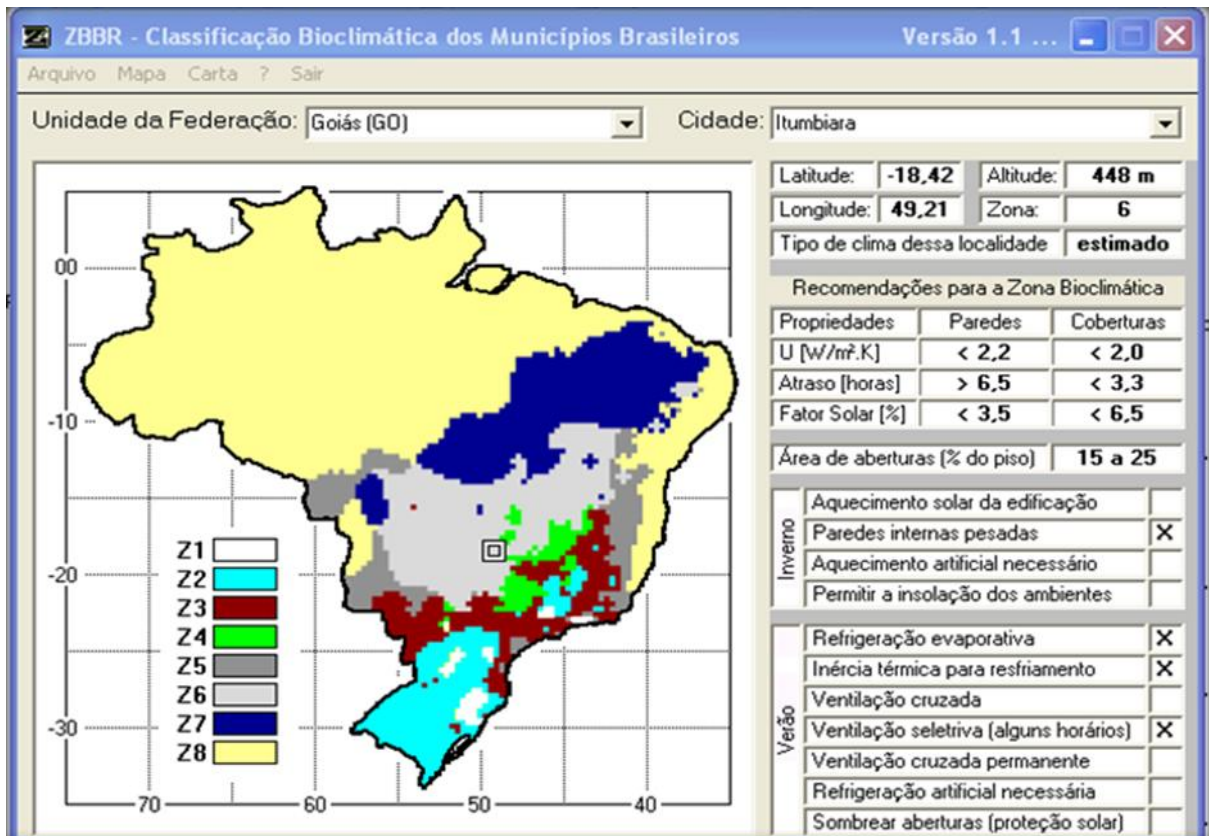


Figura 2 - Informações sobre Itumbiara-GO segundo o programa ZBBR

Fonte: Roriz (2004).

A cidade de Itumbiara-GO tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 18° 25' 18" Sul, Longitude: 49° 12' 56" Oeste, situada na região sudoeste do estado de Goiás, fazendo divisa com o estado de Minas Gerais, separados pelo Rio Paranaíba. O clima do município é caracterizado como tropical, com temperaturas moderadamente altas na estação chuvosa, verificada entre os meses de outubro e abril, e temperaturas mais amenas no período de seca, verificado entre os meses de maio a setembro.

Os meses mais frios ficam compreendidos entre Abril e Agosto, de Setembro a Março estão os meses mais quentes, e o clima fica substancialmente quente com temperaturas mais elevadas entre Setembro e Janeiro (CLIMATE-DATA.ORG, 2021).

Na Parte 3 da NBR 15.220 (ABNT, 2005c), encontrou-se na seção 6 as orientações construtivas quanto à alvenaria de vedações externas, bem como as estratégias de condicionamento térmico passivo recomendadas para as oito diferentes zonas bioclimáticas do país, inclusive a Zona 6, onde se encontra a cidade de Itumbiara-GO.

2.2 Características termofísicas limites para as zonas bioclimáticas

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) - Edificações Habitacionais - Desempenho institui normativas sobre a relação do desempenho térmico e eficiência energética, estabelecendo os requisitos, os critérios e os métodos para a avaliação do desempenho de sistemas de edificações habitacionais ou de seus elementos. Esta norma está dividida em seis partes, e na parte 4 estão apresentados os requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.

Em relação a cada classificação bioclimática, são fornecidas recomendações construtivas para um melhor desempenho térmico das edificações, adequando estratégias de projeto para o clima local, de forma a proporcionar melhor conforto térmico.

As propriedades dos materiais de construção determinam o seu comportamento quanto à admissão, transferência, armazenamento e emissão de calor. As principais grandezas envolvidas nesse processo são definidas pela NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a), algumas das quais podem ser destacadas: condutividade térmica, densidade de massa aparente, calor específico, transmitância térmica e fator solar de elementos opacos (GRABARZ; SOUZA; PARSEKIAN, 2013).

2.2.1 Resistência térmica

De acordo com a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a), a resistência total de um elemento é a soma das resistências térmicas de cada uma das camadas de um elemento ou de um conjunto, compreendendo as resistências superficiais, interna e externa. Quanto menor for a condutibilidade térmica e maior a espessura do material, mais eficaz será o isolamento térmico.

A resistência térmica pode ser vista como a resistência que um meio oferece à passagem de um fluxo térmico, isto é, é a resistência térmica contra o calor. Em situações reais, raramente uma resistência térmica aparece isoladamente.

Para aplicar o estudo, foi elaborado o cálculo da resistência térmica conforme NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b), em que a resistência térmica de um elemento (R) pode ser calculada pela relação entre sua espessura e condutividade térmica, conforme Equação 1:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

R = resistência térmica do elemento $\left(\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}\right)$;

e = espessura da camada (m);

λ = coeficiente de condutividade térmica do material $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot \text{K}\right)$.

Porém, a resistência térmica de superfície a superfície (R_t) de um componente plano constituído de camadas homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é calculado com a Equação 2:

$$R_t = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b} + \dots + \frac{A_n}{R_n}} \quad (2)$$

Onde:

R_t = resistência térmica de superfície a superfície;

A_a, A_b, \dots, A_n = áreas de cada seção (m^2);

R_a, R_b, \dots, R_n = resistências térmicas de superfície a superfície para cada seção (a, b, ..., n), determinadas pela Equação 1.

2.2.2 Transmitância térmica

A transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor é uma propriedade dos componentes construtivos relacionada à permissão da passagem de energia e é função dos materiais que a compõe (KAPPAUN, 2012).

Para este estudo, serão utilizados os procedimentos de cálculos da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b) que determina a transmitância térmica como o inverso da resistência térmica total, concebida pelo símbolo U, demonstrada na Equação 3.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3)$$

Onde:

U = transmitância térmica $\left(\frac{W}{m^2} \cdot K\right)$;

R_t = resistência total do elemento.

2.2.3 Capacidade térmica

A capacidade térmica (CT), de acordo com a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a), é a quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema. O método de avaliação utilizado para a análise do cumprimento do critério de CT foi o simplificado, conforme a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a). Quanto mais elevado o calor específico de uma substância, mais calor absorverá para um incremento dado de temperatura (SOUZA, 2015).

A capacidade térmica (CT) irá depender da espessura da camada (e), da densidade da mesma (ρ) e do calor específico (c), como pode ser visto na Equação 4:

$$CT = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i \cdot c_i \cdot \rho_i \quad \left(\frac{kJ}{m^2 \cdot K}\right) \quad (4)$$

Onde:

CT = capacidade térmica;

λ_i = condutividade térmica do material da camada i (W/m. K),

R_i = resistência térmica da camada i ($m^2 \cdot K$)/W ;

e_i = espessura da camada i ($m^2 \cdot K$)/W;

c_i = calor específico do material da camada i (J/(kg. K)) ;

ρ_i = densidade de massa aparente do material da camada i (kg/m³)..

Considerando-se um componente plano formado por camadas homogêneas e não homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor, é possível calcular a capacidade térmica pela Equação 5 (NBR 15.220-2, ABNT, 2005b):

$$C_{\text{Total}} = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{T1}} + \frac{A_b}{C_{T2}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (5)$$

Onde:

C_{Total} = capacidade térmica total;

A_a, A_b, \dots, A_n = as áreas de cada seção (m^2);

$C_{Ta}, C_{Tb}, \dots, C_{Tn}$ = as capacidades térmicas do componente para cada seção (a, b, ..., n);

As câmaras de ar foram consideradas desprezíveis no cálculo da capacidade térmica, pois conforme apontado na NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b), o ar apresenta densidade aparente muito baixa ($\rho = 1,20 \text{ kg /m}^3$).

2.2.4 Absortância solar

A absortância solar (α) é o resultado da divisão entre a taxa de radiação solar absorvida e a taxa de radiação solar incidente em uma determinada superfície, sendo adimensional e dada em função da cor (ABNT, 2005b; KAPPAUN, 2012; INMETRO, 2013):

- a) Pinturas na cor branca, amarela, verde clara e alumínio: $\alpha \leq 0,6$;
- b) Pinturas na cor verde escura, vermelha e preta: $\alpha > 0,6$.

2.2.5 Atraso térmico

Conforme a NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a) o atraso térmico (Φ) é o tempo decorrido entre a variação térmica e a sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo sujeito a um regime periódico de transmissão de calor. Sua unidade de medida é horas (h).

2.2.6 Fator solar

O fator solar (FS_0) é a quantificação do ganho de calor solar, neste trabalho será considerado para elementos opacos, é a razão entre a taxa de radiação solar que é transmitida por tal elemento e a taxa de radiação solar total que incide sobre a superfície externa dele (NBR 15.220-1, ABNT, 2005a), sendo função da transmitância térmica e da

absortância à radiação solar. Em relação aos itens de verificação da pesquisa, transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT), absortância solar (α), atraso térmico (Φ) e Fator Solar (FS_0), foram caracterizados em relação somente à vedação. Todas essas propriedades estão referenciadas pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c).

Quando se verificou as normativas da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c), da NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a), os critérios da RTQ-R (Portaria nº 18, INMETRO, 2012) e o regulamento do Manual Selo Casa Azul (CAIXA, 2010) notou-se valores divergentes para os valores admissíveis. Todos os para todas as 4 normativas estão apresentados no Apêndice A.

2.3 Métodos para calcular desempenho térmico das vedações

A ABNT elaborou a Norma de Desempenho de Edificações Habitacionais - NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a), buscando atender às exigências dos usuários no que se refere aos sistemas que compõem as unidades habitacionais utilizados no Brasil.

A NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a) estabelece que os elementos de vedação verticais podem ser analisados em relação ao desempenho térmico considerando-se o método simplificado. Quando não atendidos os parâmetros estabelecidos por tal método a norma cita que é necessário realizar a verificação considerando-se a NBR 15.575-1 (ABNT, 2013b), ou pelo procedimento de simulação do desempenho térmico, ou realizando as medições em campo.

Para a presente pesquisa, foi utilizado o método simplificado, pois são verificados atendimentos a todos os requisitos e critérios para o envelopamento da obra com base no cálculo das grandezas termofísicas normatizadas, garantindo que em habitações típicas, não sejam utilizados componentes construtivos totalmente inadequados às condições climáticas do local.

Ressalta-se também a importância da caracterização das propriedades térmicas dos materiais de vedação, padronizados pela NBR 15.220-1 (ABNT, 2005a), são elas:

- a) Condutividade térmica (λ) - $W/(m.K)$ - característica física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de $1 W/m^2$, quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de $1 K/m$;
- b) Calor específico ou Capacidade térmica específica (c) - $J/(kg.K)$ - divisão capacidade térmica de uma substância por unidade de massa;
- c) Densidade de massa aparente (ρ) - kg/m^3 - divisão da massa pelo volume aparente de um corpo.

2.3.1 Método simplificado

O método simplificado apresenta valores limites para a transmitância e para a capacidade térmica de paredes, bem como para a transmitância térmica de coberturas (BRITO; FABRÍCIO; VITTORINO, 2017). Giglio e Barbosa (2006) relatam que este método apresenta parâmetros de capacidade térmica e transmitância térmica, com valores diferentes dos estabelecidos pela norma brasileira de desempenho térmico.

A transmitância térmica é apurada considerando-se as espessuras dos materiais, a condutividade e a resistência térmica de espaços de ar, em que a transmitância é relacionada ao isolamento térmico do componente (propriedade de dificultar as trocas de calor entre ambientes). Ela mede o quanto de calor é transmitido (BRITO; FABRÍCIO; VITTORINO, 2017).

A capacidade térmica é obtida e considerando-se as espessuras dos materiais, o calor específico e a massa específica, esta propriedade refere-se à inércia térmica (capacidade dos componentes em atenuar as variações da temperatura do ar interior) (BRITO; FABRÍCIO; VITTORINO, 2017).

Segundo Giglio e Barbosa (2006), o método consiste em recomendações de limites para as propriedades térmicas de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar, além da proposição de estratégias bioclimáticas, todas variáveis conforme a Zona Bioclimática em estudo. É um método simplificado, pois somente depende do cálculo das propriedades térmicas de um componente construtivo isoladamente.

Após o cálculo das propriedades dos materiais de construção que compõem o sistema de vedações verticais, compararam-se os resultados obtidos com os valores normativos para cada critério apresentado pela norma NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a). O primeiro critério a ser analisado para as vedações verticais é o da transmitância térmica (U). Com base nos valores normativos, determina-se se o desempenho térmico é satisfatório ou não. Logo após, as outras grandezas termo físicas são comparadas também para as devidas deliberações.

Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a), resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional ou realizar medições em campo.

2.4 Tipos de blocos para alvenaria de vedação

De acordo com Silva (2013), alvenaria é um conjunto de pedras, tijolos ou blocos que formam a estrutura de cercamento de uma edificação. O objetivo da alvenaria é dividido em oferecer resistência, vedar espaços e proporcionar proteção acústica e térmica.

Em relação a alvenaria de vedação convencional é comum a falta de planejamento na escolha do tipo de bloco para uso na edificação, os desperdícios evidenciados dos materiais de construção (aglomerados e agregados) e o improvisado. Utilizam-se blocos e tijolos maciços de qualquer tipo, não existindo controle de dimensões ou um planejamento da escolha da vedação considerando seus impactos positivos/negativos (FIEGENBAUM, 2018).

A principal função da alvenaria de vedação, quando interna, é a de separação de ambientes e, para a vedação externa, proteção aos efeitos da temperatura, à pressão do vento, resistência à umidade, oferecer proteção às intempéries e oferecer resistência à infiltração de águas pluviais (SILVA, 2007). Existem alguns tipos de blocos que são mais utilizados no mercado de construção civil para alvenaria de vedação. Conforme a NBR 15.270 (ABNT, 2017), a alvenaria de vedação utiliza-se de vários tipos de blocos com dimensões múltiplas que podem evitar o corte e o desperdício desses materiais.

Os blocos cerâmicos são fabricados a partir da argila e são queimados em fornos. Podem ser maciços ou furados (Figura 3). Oferecem certo conforto térmico e são resistentes ao fogo. Em geral são mais leves que os blocos de concreto. São fabricados com diversas dimensões para usos específicos, as quais devem atender as especificações físicas e mecânicas fornecidas pelo INMETRO.



Figura 3 - Blocos cerâmicos: furado (A) e maciço (B)

Fonte: Autoria própria (2021).

Os blocos de concreto utilizados para vedação, devem cumprir as disposições da norma da NBR 6.136 (ABNT, 2007) - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. São fabricados segundo normas mais específicas e existe um controle de qualidade maior. Para o uso exclusivo como alvenaria de vedação, os blocos de concreto utilizados são os do tipo C segundo o INMETRO.

Por terem dimensões maiores que os blocos cerâmicos, os blocos de concreto (Figura 4), oferecem maior agilidade no que se trata no assentamento das paredes, oferecendo maior produtividade na mão de obra, economia no uso dos revestimentos, por se tratar de blocos com medidas mais precisas. Por outro lado, são mais pesados que os blocos cerâmicos, o que causa um desconforto ergonômico. São menos resistentes ao fogo quando se compara com os blocos cerâmicos.



Figura 4 - Bloco de concreto

Fonte: Autoria própria (2021).

A busca por novas tecnologias no mercado da construção civil tem como cerne o alcance de vantagens atrelado principalmente ao aumento da produtividade e a diminuição da mão de obra (MORAES; BRASIL, 2015). Visa-se também o atual mercado frente ao impacto que ela gera ao meio ambiente, tomando a preocupação por uma maior qualidade ao ambiente construído e que gere o menor impacto possível. Nesse contexto, insere-se o uso do Bloco de EPS revestido por concreto, Figura 5, tornando possível racionalizar o processo de execução de sistemas de vedação em construções; já que o EPS é uma espuma sólida com uma combinação única de características.



Figura 5 - Bloco de EPS revestido por concreto

Fonte: Autoria própria (2020).

2.5 Blocos de EPS revestidos por concreto

O EPS é um material que apresenta baixa condutividade térmica, fator que dificulta as trocas de calor entre os ambientes internos e externos de uma edificação, que, além de produzir maior conforto de seus habitantes, fomenta em economia no consumo de energia elétrica com equipamentos que condicionam a temperatura.

Segundo matéria da Revista Potência (2019), o EPS está presente no cotidiano dos brasileiros desde o início dos anos 1960. O produto se tornou popular por oferecer diversas vantagens a um custo impressionantemente baixo: ele é resistente, leve, isolante térmico e impermeável.

O poliestireno expandido provou ser um excelente meio isolante que apresenta consistência térmica, desempenho na faixa de temperaturas normalmente encontrados em edifícios (LAKATOS; KÁLMAR, 2012). Percebendo assim suas características isolantes, leveza, resistência, facilidade de trabalhar em função da flexibilidade para moldes e baixo custo em função das vantagens oferecidas, o uso na construção civil no Brasil passou a ser mais divulgado.

Conforme matéria publicada no G1 Rio Preto e Araçatuba (CASONATO, 2018), a ideia de blocos de isopor revestidos surge de uma utilização anterior (há 40 anos) na Europa de paredes inteiras com a mesma ideia, material isolante na parte interna e revestidos por outro material na parte externa. Na matéria a CEO da Day-House, Dayana Almeida, cita que

os blocos de isopor revestidos com concreto garantem ao ambiente uma melhor característica termoacústica, deixando-o mais arejado e menos propenso a ruídos externos.

Conforme NBR 11.752 (ABNT, 2016) o poliestireno expandido (EPS) é um material plástico celular rígido, com adição de retardante à chama, tendo originalmente cor branca. Sua fabricação se dá pela expansão de grânulos de pré-expandidos de poliestireno, podendo ser moldado já em sua forma definitiva ou cortado em blocos.

A utilização de materiais isolantes como alternativas construtivas para blocos de vedação se dá pelo oferecimento de características termofísicas específicas. A Tabela 1 mostra as propriedades térmicas de alguns materiais utilizados na construção, caracterizando a relação de densidade versus condutividade térmica.

Tabela 1- Propriedades térmicas de alguns materiais empregados em paredes para isolamento térmico

Material	Densidade (kg/m³)	Condutividade térmica (W/(m.K))
Argamassa de cimento	1800-2100	1,150
Argamassa celular	600-1000	0,400
EPS moldado	15-35	0,040
Tijolo cerâmico	1300-1600	0,900
Concreto normal	2200-2400	1,750

Fonte: NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b).

De acordo com Sariisik e Sariisik (2012), as utilizações de materiais de alvenaria de bloco de isolamento são mais econômicas do que outros materiais de alvenaria em termos de requisitos de mão de obra, tempo de construção e requisitos de energia durante a vida operacional da construção. Os sistemas de vedação que usam o EPS como elemento construtivo, se apresentam como uma boa alternativa a modelos convencionais de vedação em blocos cerâmicos, que ocasionam uma maior sobrecarga na edificação e geram maior gasto com materiais e mão de obra, dando ênfase no objetivo de sustentabilidade na construção civil.

Em países da Europa, Ásia e até mesmo na América Central, o uso de blocos alternativos de alvenaria para vedação é bem mais difundido que no Brasil (MUSTAPA; RASHID; SULONG, 2018), onde estudos mais avançados já utilizam o EPS como matéria prima para a confecção de blocos. Existem estudos com o uso de EPS granulado como agregado para confecção de blocos com concreto (SARIISIK; SARIISIK, 2012), assim como o uso de EPS prensado (GARCEZ *et al.*, 2020).

Uma vedação em blocos cerâmicos, por exemplo, para atingir o mesmo isolamento térmico de uma vedação em blocos de EPS revestidos por concreto, necessitaria ser

construída com uma espessura bem superior à em EPS, fato que além de consumir maior quantidade de material, sobrecarregaria a estrutura da edificação a qual faz parte.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo sido feita a referida revisão bibliográfica que abordou os conceitos e critérios das zonas bioclimáticas brasileira, executou-se uma análise criteriosa da NBR 15.220 Partes 1, 2 e 3 (ABNT, 2005a; 2005b; 2005c) onde foi diagnosticado que o município de Itumbiara-GO está inserido na Zona Bioclimática 6, bem como todos os procedimentos construtivos propostos para um desempenho térmico mais favorável das suas edificações.

Com isso, verifica-se agora as características físicas dos blocos pesquisados.

3.1 Cálculos das propriedades de um modelo de vedação com blocos cerâmicos

Verificou-se junto a profissionais da construção civil do município de Itumbiara-GO, que o principal produto de consumo, para paredes de vedação, é o bloco cerâmico 9,0 por 14,0 por 24,0 cm (largura contra altura contra profundidade), apresentado na Figura 6.



Figura 6 - Dimensões do bloco cerâmico mais usual em Itumbiara-GO

Fonte: Felisbino (2020).

A Figura 7 ilustra uma parede “acabada”, com as dimensões dos revestimentos de vedação e assentamento, destacando suas propriedades térmicas. Na Tabela 2, as dimensões do bloco cerâmico são apresentadas de forma a facilitar a interpretação do perfil físico de construção da alvenaria de vedação utilizada na pesquisa.

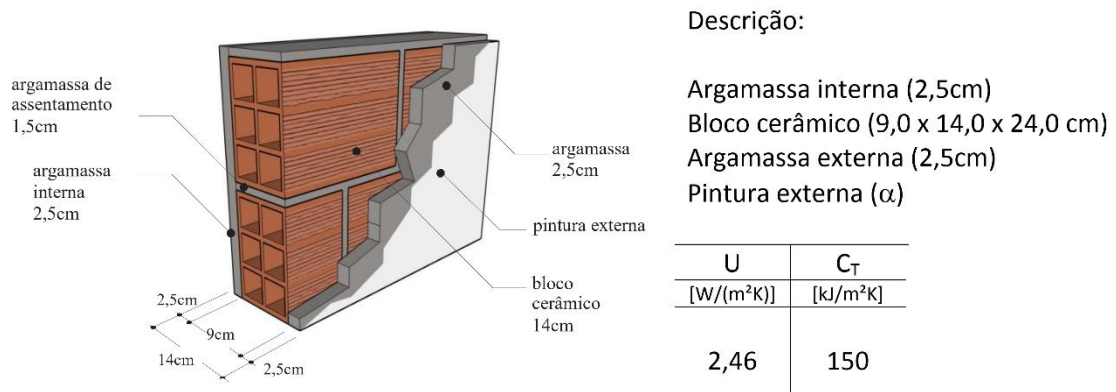


Figura 7 - Descrição e propriedades da parede de alvenaria pronta, utilizando o bloco cerâmico 9,0 x 14,0 x 24,0 cm, o mais usual para o município de Itumbiara-GO

Fonte: INMETRO (2013).

Tabela 2 - Especificações dimensionais da parede pronta com o bloco cerâmico mais utilizado em Itumbiara-GO

Largura do tijolo	0,0900	m
Altura do tijolo	0,1400	m
Comprimento do tijolo	0,2400	m
Espessura do furo horizontal	0,0300	m
Espessura do furo vertical	0,0350	m
Espessura revestimento argamassa	0,0250	m
Espessura argamassa de assentamento	0,0150	m
Espessura de espaço entre furos vertical	0,00875	m
Espessura de espaço entre furos horizontal	0,0100	m
Quantidade de furos horizontal	2	unidades
Quantidade de furos vertical	3	unidades

Fonte: Autoria própria (2021).

Quanto às propriedades térmicas dos materiais, foram utilizados os valores médios apresentados na NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b), conforme Tabela 3. Para tijolos furados, a

densidade geralmente é de 1110 kg/m^3 (SALINAS; CONTI; LOPES, 2006), valor pertencente à primeira faixa. Logo, optou-se por utilizar o valor médio dessa faixa, que resultou em uma densidade de massa aparente de 1150 kg/m^3 . Considerações para cálculo da resistência térmica da parede, uma vez, que depende de:

- Resistência térmica do ar (R_{ar});
- Resistência térmica superficial interna (R_{si});
- Resistência externa (R_{se}).

Tabela 3 - Propriedades térmicas dos materiais do bloco de vedação em Itumbiara-GO

Bloco cerâmico (tijolo)	$\rho_{\text{cerâmica}} (\text{kg/m}^3)$	1150
	$c_{\text{cerâmica}} (\text{J}/(\text{kg.K}))$	0,92
	$\lambda_{\text{cerâmica}} (\text{W}/(\text{m.K}))$	0,70
Revestimento argamassado e argamassa de assentamento	$\rho_{\text{argamassa}} (\text{kg/m}^3)$	1950
	$c_{\text{argamassa}} (\text{J}/(\text{kg.K}))$	1,00
	$\lambda_{\text{argamassa}} (\text{W}/(\text{m.K}))$	1,15

Fonte: NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b).

O cálculo do R_{ar} depende das informações da Tabela B.1, Anexo B, na Parte 2 da NBR 15.220 (ABNT, 2005b). Para espessuras entre $2,0 < e \leq 5,0 \text{ cm}$, a direção do fluxo de calor considerada é horizontal e para alta emissividade, o valor para R_{ar} é $0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. A R_{si} e a R_{se} são encontradas na Tabela A.1, Anexo A, na Parte 2 da NBR 15.220 (ABNT, 2005b), em função do tipo de fluxo de calor, que nesse caso é horizontal e os valores são $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ e $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

3.1.1 Primeiro método de cálculo da resistência térmica da parede e da transmitância térmica segundo o método simplificado

3.1.1.1 Resistência térmica de superfície a superfície (R_t)

Adota-se S_a e S_b :

S_a = seção que envolve os dois lados do reboco e a argamassa de assentamento;

S_b = seção que envolve os dois lados do reboco e o tijolo.

S_1 = no interior da seção S_b , o tijolo ainda possui mais duas seções, uma envolvendo somente a região da cerâmica (S_1) e a outra a região do furo (S_2).

A transmitância térmica pode ser obtida através dos procedimentos apresentados na NBR 15.220-2 (ABNT, 2005): Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.

No Anexo C da NBR 15.220-2 (ABNT, 2005), encontram-se os seguintes exemplos de cálculo para paredes: Parede de tijolos cerâmicos de 6 furos rebocados em ambas as faces: neste exemplo, têm-se camadas homogêneas e não homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor. São apresentadas duas possibilidades de cálculo considerando-se, no caso 1, a argamassa e o tijolo ao mesmo tempo ou, no caso 2, calcula-se primeiramente as propriedades térmicas do tijolo para em seguida considerá-lo como uma das camadas da parede (seção composta por reboco + tijolo + reboco). Na Figura 8, encontra-se o detalhamento do tijolo cerâmico.

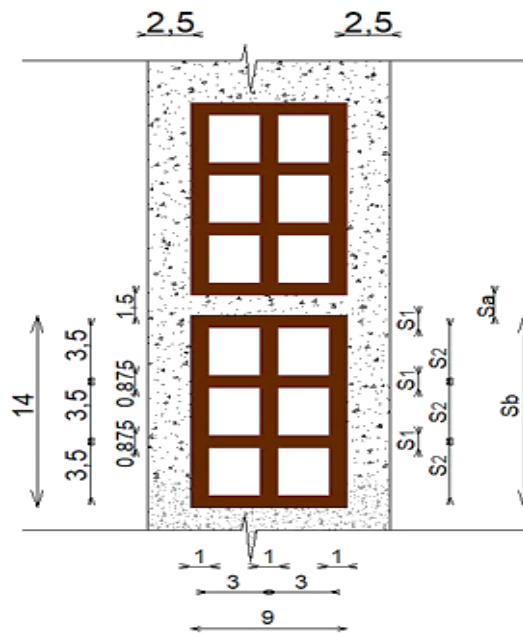


Figura 8 - Corte transversal do bloco de vedação com as seções para o cálculo das propriedades térmicas segundo o caso 1 do método simplificado (medidas em cm)

Fonte: Autoria própria (2021).

3.1.1.2 Resistência térmica do tijolo

Seção 1 - S_1 (bloco – somente cerâmica):

$$A_1 = 0,00875 * 0,24000 = 0,0021 \text{ m}^2 \quad (6)$$

$$R_1 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} = \frac{0,0900}{0,70} = 0,1290 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (7)$$

Seção 2 – S₂ (bloco + câmara ar + bloco + câmara ar + bloco):

$$A_2 = 0,0350 * 0,2400 = 0,0084 \text{ m}^2 \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} \quad (9)$$

$$R_2 = \frac{0,0100}{0,70} + 0,16 + \frac{0,0100}{0,70} + 0,16 + \frac{0,0100}{0,70} = 0,3630 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (10)$$

Resistência do bloco cerâmico:

$$R_{\text{Bc}} = \frac{4.A_1 + 3.A_2}{\left(\frac{4.A_1}{R_1}\right) + \left(\frac{3.A_2}{R_2}\right)} = \frac{4.0,0021 + 3.0,0084}{\frac{4.0,0021}{0,129} + \frac{3.0,0084}{0,363}} = 0,2497 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (11)$$

3.1.1.3 Resistência térmica da seção A – S_a (argamassa de reboco + argamassa de assentamento + argamassa de reboco)

$$A_a = 0,015 * 0,24000 + 0,015 * (0,14 + 0,015) = 0,0059 \text{ m}^2 \quad (12)$$

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} \\ &= \frac{0,0250}{1,15} + \frac{0,0900}{1,15} + \frac{0,0250}{1,15} = R_a = 0,1217 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \end{aligned} \quad (13)$$

3.1.1.4 Resistência térmica da seção B - S_b (argamassa + reboco + tijolo + argamassa + reboco)

$$A_b = 0,14 * 0,24000 = 0,0336 \text{ m}^2 \quad (14)$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + R_{\text{Bc}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,0250}{1,15} + 0,2497 + \frac{0,0250}{1,15} = 0,2932 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (15)$$

3.1.1.5 Resistência térmica total de superfície a superfície

$$R_t = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}} = \frac{0,0059 + 0,0336}{\frac{0,0059}{0,1217} + \frac{0,0336}{0,2932}} = 0,2422 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (16)$$

3.1.1.6 Resistência térmica de ambiente a ambiente

$$R_{\text{Térmica}} = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}} = 0,13 + 0,2422 + 0,04 = 0,4122 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (17)$$

3.1.1.7 Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_{\text{Térmica}}} = \frac{1}{0,4704} = 2,1259 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (18)$$

3.1.2 Segundo método de cálculo da resistência térmica da parede e da transmitância térmica

Neste segundo método de cálculo, o bloco de vedação é dividido em três seções principais (S_a , S_b e S_c) sendo que a seção S_a será a seção que envolve os dois lados do reboco e a argamassa de assentamento, a seção S_b será a seção a que considera os 2 lados do reboco e a parte do tijolo sem furos e a seção S_c será a seção dos dois lados do reboco e da parte do tijolo com furos, sendo as seções representadas na Figura 9.

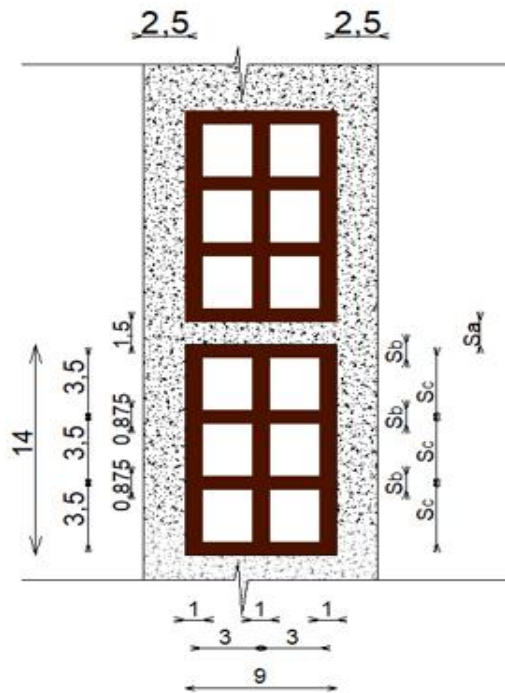


Figura 9 - Corte lateral de parte da vedação com as seções segundo o segundo caso para o método simplificado (medidas em cm)

Fonte: Autoria própria (2020).

3.1.2.1 Resistência térmica da Seção A (reboco + argamassa de assentamento + reboco)

$$A_a = 0,24 \cdot 0,015 + 0,015(0,015 + 0,14) = 0,005925 \text{ m}^2 \quad (19)$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,0250}{1,15} + \frac{0,090}{1,15} + \frac{0,0250}{1,15} = 0,1217 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (20)$$

3.1.2.2 Resistência térmica da Seção B (reboco + cerâmica + reboco)

$$A_b = 0,00875 \cdot 0,2400 = 0,0021 \text{ m}^2 \quad (21)$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,0250}{1,15} + \frac{0,0900}{0,70} + \frac{0,0250}{1,15} = 0,1720 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (22)$$

3.1.2.3 Resistência térmica da Seção C (reboco + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + câmara de ar + cerâmica + reboco)

$$A_c = 0,0350 \cdot 0,2400 = 0,0084 \text{ m}^2 \quad (23)$$

$$R_c = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{\text{ar}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,0250}{1,15} + \frac{0,01}{0,70} + 0,16 + \frac{0,01}{0,70} + 0,16 + \frac{0,01}{0,70} + \frac{0,0250}{1,15} = 0,4063 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (24)$$

3.1.2.4 Resistência térmica total de superfície a superfície

$$R_t = \frac{A_a + 4 \cdot A_b + 3 \cdot A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{4 \cdot A_b}{R_b} + \frac{3 \cdot A_c}{R_c}} = \frac{0,005925 + 0,0021 + 0,0084}{\frac{0,005925}{0,1217} + \frac{4 \cdot 0,0021}{0,1720} + \frac{3 \cdot 0,0084}{0,4063}} = 0,29 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (25)$$

3.1.2.5 Resistência térmica de ambiente a ambiente

$$R_{\text{Térmica}} = R_{\text{si}} + R_{\text{se}} + R_t = 0,13 + 0,04 + 0,1029 = 0,2729 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (26)$$

3.1.2.6 Transmitância térmica

$$U = \frac{1}{R_{\text{Térmica}}} = \frac{1}{0,2729} = 3,6643 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (27)$$

3.1.2.7 Capacidade térmica

$$C_{T1} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} = 0,025 * 1,00 * 1950 + 0,0900 * 1,0 * 1950 + 0,025 * 1,00 * 1950 = 273,00 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (28)$$

$$C_{T2} = (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{cerâmica}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{argamassa}} + (e \cdot c \cdot \rho)_{\text{reboco}} = 0,015 * 1,00 * 1950 + 0,025 * 1,00 * 1950 + 0,0100 \cdot 0,92 \cdot 1150 + 0,015 * 1,00 * 1950 + 0,025 * 1,00 * 1950 + 0,0900 * 0,92 * 1150 = 251,22 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (29)$$

$$CT_{\text{Total}} = \frac{\frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{C_{T1}} + \frac{A_b}{C_{T2}}}} = \frac{0,0059 + 0,0336}{\frac{0,0059}{273,00} + \frac{0,0336}{251,22}} = 254,25 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (30)$$

3.1.2.8 Atraso térmico

$$R_t = 0,2422 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$B_0 = CT_{\text{Total}} - CT_{\text{ext}}$$

CT_{ext} - capacidade térmica do reboco, porquanto o índice "ext" se refere à última camada do componente, junto à face externa.

$$B_0 = 254,25 - 0,025 \cdot 1,00 \cdot 1950 = 205,50 \quad (31)$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{205,50}{0,2422} = 191,75 \quad (32)$$

$$\begin{aligned} B_2 &= 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right) \\ &= 0,205 \cdot \left(\frac{1,15 \cdot 1950 \cdot 1,00}{0,2422} \right) \cdot \left(\frac{0,025}{1,15} - \frac{0,2422 - 0,025}{10} \right) = -0,58 \end{aligned} \quad (33)$$

--- B_2 é negativo, logo, é considerado valor nulo para o cálculo do atraso térmico (Φ).

Portanto,

$$\phi = 1,382 \cdot R_t \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 0,2422 \cdot \sqrt{191,75 - 0} = 4,64 \text{ horas} \quad (34)$$

3.1.2.9 Fator Solar

$$\begin{aligned} FS_0 &= 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} = \alpha = 0,2 \text{ --- parede branca a ser considerada na pintura} \\ &= 100 \cdot 2,4259 \cdot 0,2 \cdot 0,04 = 1,94\% \end{aligned} \quad (35)$$

3.2 Cálculos das propriedades do modelo de bloco de EPS revestido por concreto com 10,0 x 43,0 x 53,0 cm.

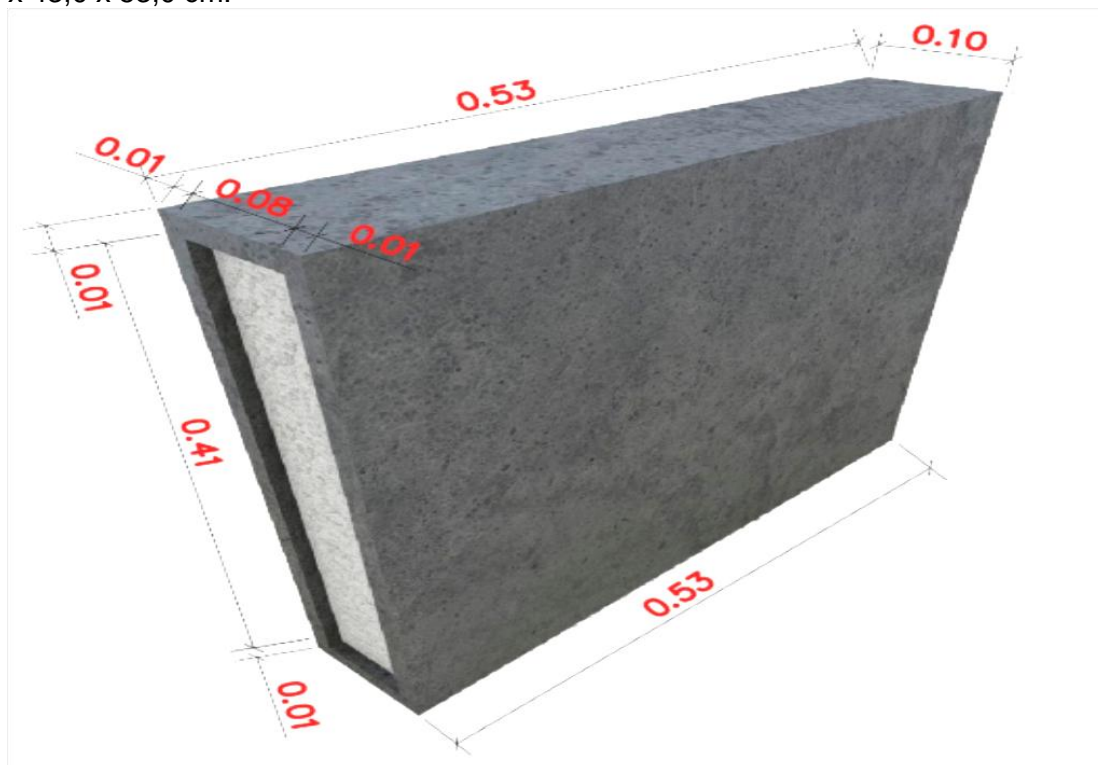


Figura 10 - Dimensões do bloco de EPS revestido por concreto (cm)

Fonte: Autoria própria (2021).

Na Tabela 4 estão apresentados os dados utilizados para os cálculos das propriedades térmicas do bloco de EPS revestido por concreto com medidas de 10,0 x 43,0 x 53,0 cm, apresentado na Figura 10. Para o cálculo das propriedades térmicas utilizou-se também o método simplificado.

Tabela 4 - Especificação do bloco de EPS revestido por concreto pesquisado

Largura do bloco	0,1000	m
Altura do bloco	0,4300	m
Comprimento do bloco	0,5300	m
Espessura revestimento argamassa	0,0250	m
Espessura argamassa assentamento	0,0150	m
Largura do EPS	0,0800	m

Fonte: Autoria própria (2021).

Na Tabela 5, algumas propriedades térmicas dos materiais que compõe o bloco estudado.

Tabela 5 - Propriedades térmicas dos materiais do bloco de EPS revestido por concreto

Bloco EPS revestido por concreto	ρ_{concreto}	2400	(kg/m ³)
	C_{concreto}	1,00	(kJ/(kg.K))
	$\lambda_{\text{concreto}}$	1,75	(W/(m.K))
	ρ_{eps}	25	(kg/m ³)
	C_{eps}	1,42	(kJ/(kg.K))
	λ_{eps}	0,040	(W/(m.K))
Revestimento argamassado e argamassa de assentamento	$\rho_{\text{argamassa}}$	1950	(kg/m ³)
	$C_{\text{argamassa}}$	1,00	(kJ/(kg.K))
	$\lambda_{\text{argamassa}}$	1,15	(W/(m.K))

Fonte: NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b).

3.2.1 Método de cálculo da resistência térmica da parede e da transmitância térmica

Na Figura 11, encontra-se o detalhamento do bloco de EPS revestido por concreto, o qual oferece os parâmetros matemáticos para as devidas propriedades térmicas relevantes.

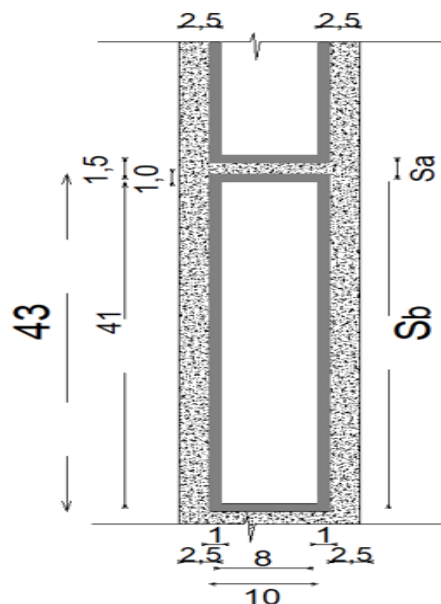


Figura 11 - Corte transversal do bloco de EPS revestido por concreto com as seções do caso 1 do método simplificado (medida em cm)

Fonte: Autoria própria (2021).

3.2.1.1 Resistência térmica do bloco

Seção A – S_A (reboco + argamassa + reboco):

$$A_a = 0,015 * 0,53 + 0,015 * 0,44 = 0,01455 \text{ m}^2 \quad (36)$$

$$R_a = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,0250}{1,15} + \frac{0,1000}{1,15} + \frac{0,0250}{1,15} = 0,1304 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (37)$$

Seção B – S_b (reboco + Bloco + reboco):

$$A_b = 0,43 * 0,53 = 0,2279 \text{ m}^2 \quad (38)$$

$$R_b = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + \frac{e_{\text{EPS}}}{\lambda_{\text{EPS}}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}}$$

$$R_b = \frac{0,0250}{1,15} + \frac{0,0100}{1,75} + \frac{0,0800}{0,04} + \frac{0,0100}{1,75} + \frac{0,0250}{1,15} = 2,0555 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (39)$$

Portanto, a resistência térmica da parede será:

$$R_t = \frac{\frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}}{\frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{A_b}{R_b}}} = \frac{0,01455 + 0,2279}{\frac{0,01455}{0,1304} + \frac{0,2279}{2,0555}} = 1,0900 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (40)$$

3.2.1.2 Resistência térmica de ambiente a ambiente

$$R_{\text{Térmica}} = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,1300 + 1,0900 + 0,0400 = 1,2600 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (41)$$

3.2.1.3 Transmissão térmica

$$U = \frac{1}{R_{\text{Térmica}}} = \frac{1}{1,2600} = 0,7937 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \quad (42)$$

3.2.1.4 Capacidade térmica

$$\begin{aligned}
 C_{T1} &= (e. c. \rho)_{\text{reboco}} + (e. c. \rho)_{\text{argamassa}} + (e. c. \rho)_{\text{reboco}} \\
 &= 0,025 * 1,00 * 1950 + 0,1000 * 1,0 * 1950 + 0,025 * 1,00 * 1950 \\
 &= 292,50 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}
 \end{aligned} \tag{43}$$

$$\begin{aligned}
 C_{T2} &= (e. c. \rho)_{\text{reboco}} + (e. c. \rho)_{\text{concreto}} + (e. c. \rho)_{\text{EPS}} + (e. c. \rho)_{\text{concreto}} + (e. c. \rho)_{\text{reboco}} \\
 &= 0,025 * 1,00 * 1950 + 0,0100 * 1,00 * 2400 + 0,08.1,42.25 + 0,010 \\
 &\quad * 1,00 * 2400 + 0,025 * 1,00 * 1950 \\
 &= 148,34 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}
 \end{aligned} \tag{44}$$

$$C_{\text{Total}} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{C_{T1}} + \frac{A_b}{C_{T2}}} = \frac{0,01455 + 0,1304}{\frac{0,01455}{292,50} + \frac{0,1304}{148,34}} = 156,06 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \tag{45}$$

3.2.1.5 Atraso térmico

$$R_t = 1,0900 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$B_0 = C_{\text{Total}} - C_{T_{\text{ext}}}$$

$C_{T_{\text{ext}}}$ - capacidade térmica do reboco, porquanto o índice "ext" se refere à última camada do componente, junto à face externa.

$$B_0 = 156,06 - 0,025 \cdot 1,00 \cdot 1950 = 107,31 \tag{46}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot \frac{B_0}{R_t} = 0,226 \cdot \frac{107,31}{1,0900} = 22,25 \tag{47}$$

$$\begin{aligned}
 B_2 &= 0,205 \cdot \left(\frac{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}}{R_t} \right) \cdot \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_t - R_{\text{ext}}}{10} \right) \\
 &= 0,205 \cdot \left(\frac{1,15 \cdot 1950 \cdot 1,00}{1,0900} \right) \cdot \left(\frac{0,025}{1,15} - \frac{1,0900 - \frac{0,025}{1,15}}{10} \right) \\
 &= -35,89
 \end{aligned} \tag{48}$$

-- B_2 é negativo, logo, é considerado valor nulo para o cálculo do atraso térmico (Φ).

Portanto:

$$\phi = 1,382 \cdot Rt * \sqrt{B_1 + B_2} = 1,382 \cdot 1,0900 \cdot \sqrt{22,25 - 0} = 7,11 \text{ horas} \quad (49)$$

3.2.1.6 Fator Solar

$$\begin{aligned} FS_0 &= 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{se} = \alpha = 0,2 \text{ --- parede branca a ser considerada na pintura} \\ &= 100 \cdot 0,7937 \cdot 0,2 \cdot 0,04 = 0,63\% \end{aligned} \quad (50)$$

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após os cálculos efetuados para o bloco cerâmico, apresenta-se a Tabela 6 com todos os dados de entrada e resultados das propriedades térmicas calculadas.

Tabela 6 - Propriedades térmicas calculadas para o bloco cerâmico 9,0 x 14,0 x 24,0 cm utilizando o método simplificado

Largura do tijolo	0,0900	m	Revestimento argamassado e argamassa de assentamento	ρ argamassa	1950,00(kg/m ³)
Comprimento do tijolo	0,1400	m		C argamassa	1,00 (kJ/(kg.K))
Altura do tijolo	0,2400	m		λ argamassa	1,15 (W/(m.K))
Espessura furo vertical	0,0350	m	Bloco cerâmico (tijolo)	ρ cerâmica	1150 (kg/m ³)
Espessura furo horizontal	0,3000	m		C cerâmica	0,92(kJ/(kg.K))
Espessura rev. da argamassa	0,0250	m		λ cerâmica	0,70(W/(m.K))
Esp. arg. assentamento	0,0150	m	R_{ar}	0,16	(m ² .K)/W
Esp. espaço furos vertical	0,0088	m	R_{se}	0,04	(m ² .K)/W
Esp. espaço furos horizontal	0,0100	m	R_{si}	0,13	(m ² .K)/W
Quant de furos vertical	4	un.	α	0,2	Tinta Branca
Quant de furos horizontal	2	un.			
A_1	0,0021	m ²			
A_2	0,0084	m ²			
A_a	0,0059	m ²			
A_b	0,0336	m ²			
R_1	0,1290	(m ² .K)/W			
R_2	0,3630	(m ² .K)/W			
R_{bc}	0,2497	(m ² .K)/W			
R_a	0,1217	(m ² .K)/W			
R_b	0,2932	(m ² .K)/W			
R_t	0,2422	(m ² .K)/W			
$R_{térmica}$	0,4122	(m ² .K)/W			
U	2,4259	(W/m ² .K)			
CT ₁	273,0000	(kJ)/(m ² .K)			
CT ₂	251,2200	(kJ)/(m ² .K)			
CTotal	254,2500	(kJ)/(m ² .K)			
Φ	4,64	horas			
F_{so}	1,94	%			

Fonte: Autoria própria (2021).

Após os cálculos efetuados para o bloco de Eps revestido por concreto, apresenta-se a Tabela 7, com todos os dados de entrada e resultados das propriedades térmicas calculadas.

Tabela 7 - Propriedades térmicas calculadas para o bloco de EPS revestido por concreto de 10,0 x 43,0 x 53,0 cm utilizando o método simplificado

Largura do tijolo	0,1000	m	Revestimento argamassado e argamassa de assentamento	ρ argamassa	1950,00(kg/m ³)
Comprimento do tijolo	0,5300	m		C argamassa	1,00 (J/(kg.K))
Altura do tijolo	0,4300	m		λ argamassa	1,15 (W/(m.K))
Espessura EPS vertical	0,4100	m	Bloco EPS revestido por concreto	ρ concreto	2400,00(kg/m ³)
Espessura EPS horizontal	0,0800	m		C concreto	1,00(kJ/(kg.K))
Esp. revest. da argamassa	0,0250	m		λ concreto	1,75 (W/(m.K))
Espessura argamassa de assentamento	0,0150	m		ρ EPS	25,00 (kg/m ³)
Espessura espaço furos vertical	0	m		C EPS	1,00 (kJ/(kg.K))
Espessura espaço entre furos horizontal	0	m		λ EPS	1,75 W/(m.K)
Quant de furos vertical	0	un.			
Quant de furos horizontal	0	un.			
A_a	0,01455	m ²			
A_b	0,2279	m ²			
R_a	0,1304	(m ² .K)/W	R_{ar}	0,16	(m ² .K)/W
R_b	2,0555	(m ² .K)/W	R_{se}	0,04	(m ² .K)/W
R_t	1,0900	(m ² .K)/W	R_{si}	0,13	(m ² .K)/W
$R_{térmica}$	1,2600	(m ² .K)/W	α	0,2	Tinta Branca
U	0,7937	(W/m ² .K)			
CT ₁	292,50	(kJ)/(m ² .K)			
CT ₂	148,34	(kJ)/(m ² .K)			
CT _{Total}	156,06	(kJ)/(m ² .K)			
ϕ	7,11	horas			
F_{so}	0,63	%			

Fonte: Autoria própria (2021).

Com os dados obtidos com os cálculos realizados para as propriedades térmicas dos dois blocos de alvenaria para vedação é possível fazer uma comparação sobre o desempenho térmico entre os dois e calcular a eficiência energética de cada um.

Serão apresentadas análises comparativas das propriedades térmicas, com os valores indicados pelas normas NBR 15.220-3 (ABNT, 2005), NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a), Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais RTQ-R (Portaria n°18, INMETRO, 2012) e o Manual Selo Casa Azul (CAIXA, 2010).

4.1 Absortância solar

De acordo com as exigências para a Zona Bioclimática 6, o valor adotado para a grandeza absortância solar (α) será o valor de $\alpha = 0,2$, valor esse referido para o uso de pintura da cor branca nas paredes de alvenaria de vedação, valor esse admissível para todas as normas vigentes.

4.2 Transmitância térmica

Adotado o parâmetro da absorvância solar e utilizando os conceitos de alvenaria de vedação do tipo pesada estabelecidos pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) para a Zona Bioclimática 6, apresentam-se os valores calculados para a transmitância térmica de cada bloco estudado.

Para o bloco cerâmico, foi encontrado o valor de transmitância térmica $U = 2,4259$ $W/m^2.K$ e para o bloco de EPS revestido de concreto o valor de transmitância térmica $U = 0,7937$ $W/m^2.K$. Os valores encontrados são comparados para todas as normas vigentes, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Transmitância térmica (U) - ($W/m^2.K$)

ZB	Transmitância térmica – U	U - Bloco cerâmico calculado ($\alpha = 0,2$ - pintura branca)	U - Bloco EPS revestido por concreto calculado
6	NBR 15.220	$U \leq 2,2$	2,4259
	NBR 15.575	$\alpha \leq 0,6$ $U \leq 3,7$	
	RTQ-R	$\alpha \leq 0,6$ $U \leq 3,7$	
	SELO CASA AZUL	$\alpha \leq 0,6$ $U \leq 3,7$	
			0,7937

Fonte: Autoria própria (2021).

A NBR 15.520 (ABNT, 2005) oferece limites de $U \leq 2,2$ quando a absorvância da parede externa igual a 20% para a Zona Bioclimática 6. Entende-se que a parede irá absorver 20% da radiação inerente da luz solar.

O resultado do valor de transmitância térmica calculado do bloco cerâmico não apresenta sustentação para ser empregado, pois apresenta transmitância térmica acima do máximo permitido pela NBR 15.520-3 (ABNT, 2005c). Já o bloco de EPS revestido por concreto oferece valores compatíveis aos limites estabelecidos para a norma. Pela norma de desempenho, NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a), ambos os blocos apresentam valores satisfatórios, corroborando para a verificação também para os outros regulamentos.

Com o conflito gerado pelos resultados obtidos para o valor de transmitância térmica do bloco cerâmico comparados entre a NBR 15.520-3 (ABNT, 2005c) e a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a), deve-se atender os aos critérios mais exigentes, segundo a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a).

A transmitância térmica é a relação inversa ($1/R_t$) da resistência térmica total, permitindo dessa forma determinar os valores de resistência térmica dos blocos estudados, sendo $R_{\text{térmica Bloco EPS}} = 1,260 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ e $R_{\text{térmica Bloco Cerâmico}} = 0,4122 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, de modo que quanto maior o valor da resistência térmica, menor será a quantidade de calor que irá atravessar a parede.

Basicamente, conclui-se que para valores encontrados em elementos com transmitância térmica mais baixos, quando comparados, menor será o fluxo de calor que passa por unidade de área e por diferença de temperatura.

De acordo com a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a), estabelecido pelo método simplificado, o valor para a transmitância térmica encontrada para bloco de EPS revestido por concreto é inferior ao bloco cerâmico.

Segundo Gomes (2017), alvenarias com baixa transmitância são indicadas para lugares onde é necessário armazenamento de calor recebido durante o período diurno, para no período noturno direcioná-lo para o exterior da edificação, sendo ótimas opções de vedações para a Zona Bioclimática 6.

De tal modo, o bloco de EPS revestido por concreto apresenta melhor desempenho térmico quanto a grandeza transmitância térmica (U) calculada, e sendo ela uma grandeza inversamente proporcional à resistência térmica, o valor calculado da transmitância térmica do bloco de EPS é menor que o valor calculado para o bloco cerâmico, verificando um maior valor para a resistência térmica oferecida pelo bloco de EPS revestido por concreto

4.3 Capacidade térmica

Analisando a grandeza física Capacidade térmica – CT , para ambos os blocos estudados os valores calculados estão em conformidade com todas as normas estudadas.

O valor calculado para capacidade térmica para o bloco cerâmico foi de $CT_{\text{Cer}} = 254,25 \text{ (kJ)/(m}^2\cdot\text{K)}$. Já o valor de capacidade térmica para o bloco EPS revestido por concreto foi de $CT_{\text{Bloco EPS}} = 156,06 \text{ (kJ)/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Os valores encontrados estão apresentado na Tabela 9 para fins de comparação entre as normas e regulamentos indicados no estudo.

Tabela 9 - Capacidade térmica (CT) - (kJ)/(m².K)

Zona Bioclimática	Capacidade térmica CT	CT - Bloco cerâmico calculado	CT - Bloco EPS revestido por concreto calculado	
6	NBR 15.220	254,25	156,06	
	Sem exigência			
	NBR 15.575			CT ≥ 130
	RTQ-R			CT ≥ 130
SELO CASA AZUL	CT ≥ 130			

Fonte: Autoria própria (2021).

Para os limites normativos estabelecidos, ambos os blocos estudados apresentaram valores satisfatórios para as mínimas exigências. Porém o valor de capacidade térmica do bloco de EPS revestido por concreto é menor que o valor de capacidade térmica do bloco cerâmico.

Segundo a NBR 15.520-1 (ABNT, 2005a), a grandeza Capacidade térmica pode ser entendida como a capacidade de um objeto, material ou corpo, armazenar calor. Para *Lamberts et al.* (2014), é a capacidade de um material reter calor. Um material de grande capacidade térmica precisa de grande quantidade de calor para variar a sua temperatura em 1 °C. Portanto, é correto afirmar que o bloco de EPS revestido por concreto, armazena uma menor quantidade de calor que o bloco cerâmico. A capacidade térmica depende diretamente do calor específico do material e da quantidade de material que compõe o mesmo.

Nos estudos dirigidos por Gonçalves e Vasconcelos (2019), foi possível relacionar que a introdução de EPS em blocos para alvenaria de vedação, resultou em um significativo decréscimo da capacidade térmica dos blocos, proporcionando uma maior inércia no horário de pico do experimento relacionado.

4.4 Atraso térmico

O valor calculado para o atraso térmico (Φ) do bloco cerâmico foi de 4,64 horas, já para o bloco de EPS revestido por concreto, o atraso térmico foi de 7,11 horas. A disposição dos dados para fins de comparação está apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Atraso térmico (Φ) - (horas)

Zona Bioclimática	Atraso térmico – Φ	Φ - Bloco cerâmico calculado	Φ - Bloco EPS revestido por concreto calculado
6	NBR 15.220	$\Phi \geq 6,5$	
	NBR 15.575	Sem exigência	
	RTQ-R	Sem exigência	
	SELO CASA AZUL	Sem exigência	
		4,64	7,11

Fonte: Autoria própria (2021).

A única norma que oferece valores limite para a grandeza atraso térmico é a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c). As demais normas não oferecem nenhum valor de exigência para a variável atraso térmico.

Pelos cálculos realizados, constatou-se que o bloco cerâmico, para fins de critérios de regulamentação junto à Zona Bioclimática 6, não oferece a exigência imposta, pois o valor encontrado é inferior à recomendação, valores de $\Phi \geq 6,5$ horas.

Para o bloco de EPS revestido por concreto, o valor encontrado para a grandeza atraso térmico (Φ) é satisfatório para os limites estabelecidos pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c), atendendo os requisitos mínimos normativos.

Gonçalves e Vasconcelos (2019), experimentando em sua pesquisa blocos de concreto comuns e blocos de concreto com poliestireno expandido reciclado com diferentes teores de EPS reciclado, encontraram também valores maiores para grandeza atraso térmico nos blocos de concreto com EPS reciclado, em comparação aos blocos convencionais estudados.

O bloco cerâmico, pelo fato de oferecer um atraso térmico menor que o recomendado, permite com mais rapidez o trânsito de calor, do ambiente externo para o interno, fazendo com que essa energia seja oferecida com mais rapidez para o interior do ambiente construído. Fato esse que não ocorre com o bloco de EPS revestido por concreto, que apresenta um atraso térmico satisfatório para a normativa, sendo também superior ao bloco comparado, retardando o efeito de transporte de calor do ambiente externo para o ambiente interno.

4.5 Fator solar

O valor calculado da grandeza fator solar FS_o para o bloco cerâmico foi de 1,94%. Para o bloco de EPS revestido por concreto, o fator solar FS_o calculado foi de 0,63 %. Na Tabela 11 os valores calculados são apresentados juntamente com os valores normatizados.

Tabela 11- Fator solar (FS_o) - (%)

Zona Bioclimática	Fator solar - FS_o	FS_o - Bloco cerâmico calculado	FS_o - Bloco EPS revestido por concreto calculado
6	NBR 15.220	1,94	0,63
	$FS_o \leq 3,5$		
	NBR 15.575		
	Sem exigência		
RTQ-R	Sem exigência		
SELO CASA AZUL	Sem exigência		

Fonte: Autoria própria (2021).

A única norma que apresenta valores limites para a grandeza fator solar é a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c). As demais, novamente, não oferecem nenhum limite para comparar valores padrão de normatização.

Sendo que a recomendação normativa oferece valores de $FS_o \leq 3,5$, verificando o limite definido pela NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c), os blocos estudados apresentam valores satisfatórios para a envoltória analisada, adequados para a Zona Bioclimática 6, considerando para ambos os blocos a pintura clara (branca).

O bloco cerâmico apresenta um fator solar de valor mais elevado que o valor calculado para o bloco de EPS revestido por concreto, considerando que o bloco de EPS revestido por concreto apresenta melhor comportamento de isolante térmico em função dos materiais que o compõe.

Gomes (2017) aponta em experimentos, utilizando blocos cerâmicos, blocos de concreto e blocos utilizando EVA como agregado, material isolante semelhante ao EPS, que os envelopamentos de paredes de vedação com tipologias de camadas isolantes mais

espessas oferecem resultados significativos de redução do fator solar, quando comparadas com tipologias mais comuns para alvenaria de vedação, apresentando maior amplitude térmica, oferecendo maior capacidade de isolamento térmico.

Sendo que quanto menor o fator solar, mais eficiente termicamente será o bloco. Nesse contexto, o bloco de EPS revestido por concreto oferece um melhor desempenho térmico sobre o bloco cerâmico, pois seu valor calculado está dentro dos parâmetros do limite estabelecido por norma e bem inferior ao valor calculado para o bloco cerâmico.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Itumbiara-GO está classificado, segundo a NBR 15.220-3 (ABNT, 2005c) na Zona Bioclimática 6. Com isso, os parâmetros termofísicos desejáveis para esta zona foram calculados e comparados entre blocos cerâmicos e o bloco de EPS revestido por concreto tanto considerando a NBR 15.220-2 (ABNT, 2005b), norma referência das zonas bioclimáticas brasileiras, quanto para o RTQ-R (Portaria nº18, INMETRO, 2012), o Manual Selo Casa Azul (2010) e para a NBR 15.575-4 (ABNT, 2013a).

Conclui-se que a vedação vertical em Blocos de EPS revestidos por Concreto apresenta um melhor desempenho térmico se comparado ao sistema convencional, utilizando blocos cerâmicos, apresentando os seguintes resultados na comparação:

- a) Resistência térmica calculada cerca de 205% superior ao bloco cerâmico, ou seja, quanto maior a resistência térmica, mais isolante é o bloco de EPS revestido por concreto;
- b) Transmitância térmica encontrada é cerca de 67% inferior ao bloco cerâmico, ou seja, como a transmitância é uma grandeza inversa da resistência térmica, é confirmado o poder isolante do bloco de EPS revestido por concreto;
- c) A Capacidade térmica do bloco de EPS revestido por concreto é cerca de 38% inferior ao bloco cerâmico;
- d) Atraso térmico cerca de 53% superior ao bloco cerâmico, ou seja, quanto maior o atraso térmico, maior será o intervalo de tempo necessário para que uma variação térmica se manifeste no lado oposto da superfície ao qual foi inserida, da parte externa para o interior da edificação;
- e) Fator solar calculado cerca de 67% inferior ao bloco cerâmico, ou seja, quanto menor o fator solar, menor será a quantidade de energia solar que atravessará a alvenaria.

Notou-se que devido às propriedades isolantes do material EPS, o desempenho térmico dos sistemas construtivos em relação a redução da transferência de calor do meio externo para o meio interno pode melhorar.

Percebeu-se que a tipologia de construção utilizando o bloco de EPS revestido por concreto, oferece uma situação melhor de performance térmica que o padrão comum com tijolos cerâmicos.

Os valores calculados para a determinação de estudo de desempenho térmico sugerem a disposição de um aumento de horas de conforto térmico dentro do envelopamento construtivo utilizando paredes de alvenaria com blocos de EPS revestidos por concreto.

Como sugestão para trabalhos futuros, apresentam-se:

- Elaboração de um projeto e análise econômica de uma casa-piloto sustentável, que utilize o bloco de EPS revestido por concreto para a cidade de Itumbiara-GO;
- Estudo comparativo da construção com blocos de EPS revestido por concreto com uma construção convencional com blocos cerâmicos a fim de verificar sua viabilidade técnica, econômica e ambiental;
- Um estudo de comparação do bloco de EPS revestido por concreto para as outras zonas bioclimáticas brasileiras.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 11.752 - Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e em refrigeração industrial**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR ISO 15.220-1 Desempenho térmico de edificações**. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR ISO 15.220-2 Desempenho térmico de edificações**. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR ISO 15.220-3 Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR ISO 15.270 - Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria**. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR ISO 15.575-1 - Edificações habitacionais - Desempenho**. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR ISO 15.575-4 - Edificações habitacionais - Desempenho**. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR ISO 6.136 - Bloco vazado de concreto simples para alvenaria**. Rio de Janeiro, 2007.

BOGO, A. J.; PICKLER, I. H. Estratégias arquitetônicas de conforto térmico em projetos de edifícios verticais. **Holos**, v. 2, p. 80-95, 2017.

BORGES, D. A.; SARMENTO, A. P.; CARVALHO, G. B. Projeto arquitetônico para a cidade de Catalão/GO: diretrizes para zona bioclimática 6. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 14, n. 1, p. 142-158, 2018.

BRITO, A. C.; FABRÍCIO, M. M.; VITTORINO, F. **Avaliação de desempenho de tecnologias inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação**. 398 f. Editora Scienza: São Carlos, 2017.

BUHAGIAR, S.; CARUANA, C.; CURMI, R.; GRIMA, C.; YOUSIF, C. Overview of testing methodologies for thermally improved hollowcore concrete blocks. In: 6th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-14, 2014. **Energy Procedia**, v. 62, p. 180-189, Elsevier, 2014.

CAIXA. **Manual selo casa azul caixa**. 2010. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Selo_Casa_Azul_CAIXA_versao_web.pdf. Acessado em: 01 mar. 2021.

CASONATO, H. **'Tijolos' de isopor tornam imóveis mais arejados e diminuem ruídos**. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/google/amp/sp/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/mercado-imobiliario-do-interior/noticia/tijolos-de-isopor-tornam-imoveis-mais-arejados-e-diminuem-ruídos.ghtml>. Acessado em: 01 mar. 2021.

CLIMATE-DATA.ORG. **Itumbiara Clima (Brasil)**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/goias/itumbiara-4067/>. Acessado em 24 de junho de 2021.

DE ARAÚJO NETO, C. L.; JUNIOR, L. N. A. Viabilidade da aplicação do poliestireno expandido na construção civil. **Revista FENEC**, v. 1, n. 2, p. 594-602, 2017.

FELISBINO. Tijolo de 6 furos. **Cerâmicas Felisbino**. Santa Catarina. 2020. Disponível em: <https://www.ceramicafelisbino.com.br/index.php?id=produtoDetalhe&cod=40>. Acessado em: 27 ago. 2020.

FIGENBAUM, A. C. **Análise comparativa de isolamento térmico entre painéis pré-moldados, alvenaria de vedação de blocos de concreto e blocos cerâmicos para fins de conforto térmico**. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, 2018.

FORUZANMEHR, A. **Thermal comfort in hot dry climates: traditional dwellings in Iran**. 210 f. Editora Routledge, 2019.

GARCEZ, L. R.; LEITE, H. E. S. C.; ARAÚJO, J. S.; FRANÇA, B. de S. M. Desafios no gerenciamento de resíduos em construção de pequeno porte. **Revista Engenharia de Interesse Social**, v. 5, n. 6, p. 150–172, 2020.

GIGLIO, T. G. F.; BARBOSA, M. J. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 3, p. 91-103, 2006.

GONÇALVES, P.; VASCONCELOS, R. Avaliação térmica, física e mecânica de blocos de concreto com poliestireno expandido reciclado. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 249-269, Porto Alegre, 2019.

GRABARZ, R.; SOUZA, L.; PARSEKIAN, G. A. Análise teórica do comportamento térmico do bloco e da alvenaria estrutural cerâmica e de concreto em habitações de interesse social – HIS. In: III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. **Anais...** Campinas, 2013. 18 p.

HASHEMI, A.; POMFRET, L. Thermal comfort in zero energy buildings. In: 9th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, 2017. **Energy Procedia**, v. 134, p. 825-834, 2017.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **RTQ-R- Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Anexo da Portaria INMETRO nº018/2012. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>. Acessado em: 24 fev. 2021.

_____. **Portaria nº 50, de 01 de fevereiro de 2013: Requisitos de avaliação da conformidade para eficiência energética de edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

Disponível em:

<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf>. Acessado em: 05 jun. 2020.

JANTSCH, N.; PIOVESAN, T.R. Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudo de caso na Avenida Brasil, em Passo Fundo – RS. **Salão do Conhecimento UNIJUÍ**, v. 6, n. 6, p. 1-6. 2020.

KAPPAUN, K. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira**. 2012.125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

LAKATOS, A.; KALMAR, F. Examination of the change of the overall heat transfer coefficients of building structures in function of water content. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 35, p. 1-9, 2012.

LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de Edificações**. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. UFSC, Florianópolis, 2016. 239 f. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf. Acessado em: 03 mai. 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. ELETROBRAS/ PROCEL. Rio de Janeiro. 2014. 382 p.

MORAES, C. B.; BRASIL, P. C. Estudo da viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental. In: 4º Seminário Nacional de Construções Sustentáveis, 1º Fórum Desempenho das Edificações. 10 p. **Anais...** Passo Fundo/RS, 2015.

MUSTAPA, S. A. S.; RASHID, M. K. A.; SULONG, N. H. R. Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and constructions: a review. **Journal of Applied Polymer Science**, p 1-11, 2018.

NIKOLOPOULOU, M.; SCHOENEFELDT, H.; SHERIF, H. The pursuit of thermal comfort in residential buildings in Khartoum. In: The 11th Windsor Conference on Thermal Comfort. 18 p. **Anais...** Cumberland Lodge, London, UK, 2020.

REVISTA POTÊNCIA. O uso de EPS na construção civil. 2019. Disponível em: <https://revistapotencia.com.br/portal-potencia/produtos/o-uso-de-eps-na-construcao-civil/>. Acessado em: 04 mai. 2020.

RORIZ, M. **ZBBR - Zoneamento Bioclimático do Brasil**. UFSCar, 2004. Disponível em: <http://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbr>. Acessado em: 20 abr. 2020.

RORIZ, Prof. Dr. Maurício. **Desempenho térmico e as paredes de concreto**. 2013. Disponível em: <http://nucleoparededeconcreto.com.br/destaqueinterno/desempenho-termico-e-as-paredes-de-concreto/>. Acesso em: 15 de março de 2021.

SALINAS, I. C. P.; CONTI, C. C.; LOPES, R. T. Effective density and mass attenuation coefficient for building material in Brazil. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 64, n. 1, p. 13-18, 2006.

SANTOS, C. G.; PALHARES, L. B.; DUARTE, R. O.; GONÇALVES, T. H. C.; HORTA, M. M. A.; REIS, W. A.; STRAELH, R. V. S. Poliestireno expandido na construção civil. **Pós em Revista**, ed. 8, Belo Horizonte: Centro Universitário Newton Paiva, 2013. Disponível em: <http://revistas.newtonpaiva.br/pos-em-revista/e8-eng18/>. Acessado em: 28 out. 2020.

SARIISIK, A.; SARIISIK, G. New production process for insulation blocks composed of EPS and lightweight concrete containing pumice aggregate. **Materials and Structures**, v. 45, n. 9, p. 1345-1357, 2012.

SILVA, A. F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados: estudo de caso em edifícios em Florianópolis**. 2007. 190 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o projeto de alvenaria de vedação**. 2013. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SOUZA, C. R. **Desenvolvimento de Blocos de Concreto visando a Otimização do Desempenho Térmico em Edificações**. 2015. 187 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, 2015.

APÊNDICES

Apêndice A - Desempenho térmico para alvenaria de vedação

Zonas bioclimáticas		ZB1	ZB2	ZB3	ZB4	ZB5	ZB6	ZB7	ZB8	
NBR 15.220	Transmitância térmica – U (W/m ² K)	U ≤ 3,00		U ≤ 3,60	U ≤ 2,20	U ≤ 3,60	U ≤ 2,20		U ≤ 3,60	
	Atraso térmico -Φ (h)	Φ ≤ 4,3		Φ ≤ 4,3	Φ ≥ 6,5	Φ ≤ 4,3	Φ ≥ 6,5		Φ ≤ 4,3	
	Fator solar - FS ₀ (%)	FS ₀ ≤ 5,0		FS ₀ ≤ 4,0	FS ₀ ≤ 3,5	FS ₀ ≤ 4,0	FS ₀ ≤ 3,5		FS ₀ ≤ 4,0	
	Capacidade térmica- CT (kJ/m ² K)	Sem exigência								
	Absortância solar – α	α ≤ 0,4		α ≤ 0,3	α ≤ 0,4	α ≤ 0,3	α ≤ 0,4		α ≤ 0,3	
NBR 15.575-3	Transmitância térmica – U (W/m ² K)	U ≤ 2,50		U ≤ 3,70 para α ≤ 0,6						
				U ≤ 2,50 para α > 0,6						
	Atraso térmico -Φ (h)	Sem exigência								
	Fator solar - FSo (%)	Sem exigência								
	Capacidade térmica- CT (kJ/m ² K)	CT ≥ 130							Sem exigência	
Absortância solar – α	α ≤ 0,6 ou α > 0,6									
RTQ-R (INMETRO)	Transmitância térmica - U(W/m ² K)	U ≤ 2,50		Se α ≤ 0,6 ----- U ≤ 3,70 Se α > 0,6 ----- U ≤ 2,50						
	Atraso térmico -Φ (h)	Sem exigência								
	Fator solar - FSo (%)	Sem exigência								
	Capacidade térmica- CT (kJ/m ² K)	CT ≥ 130							Sem exigência	
	Absortância solar – α	Sem exigência		α ≤ 0,6 e/ou α > 0,6						
Selo Azul (CAIXA)	Transmitância térmica – U (W/m ² K)	U ≤ 2,50		Se α < 0,6 ----- U ≤ 3,70 Se α ≥ 0,6 ----- U ≤ 2,50						
	Atraso térmico -Φ (h)	Sem exigência								
	Fator solar - FSo (%)	Sem exigência								
	Capacidade térmica- CT (kJ/m ² K)	CT ≥ 130							Sem exigência	
	Absortância solar – α	Sem exigência								

Fonte: Autoria própria (2021).