

ROBSON WELDER RODRIGUES PIO

DESEMPENHO TÉRMICO E PROPRIEDADES FÍSICAS DO BLOCO
CELULAR DE CONCRETO AUTOCLAVADO E BLOCOS CERÂMICOS
PARA CONSTRUÇÕES NA SUINOCULTURA

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL

ROBSON WELDER RODRIGUES PIO

DESEMPENHO TÉRMICO E PROPRIEDADES FÍSICAS DO BLOCO
CELULAR DE CONCRETO AUTOCLAVADO E BLOCOS CERÂMICOS
PARA CONSTRUÇÕES NA SUINOCULTURA

Dissertação à Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura,
para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Dra. Maritane Prior

Coorientador: Thiago Guerra

CASCVEL
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2025

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Pio, Robson Welder Rodrigues
DESEMPENHO TÉRMICO E PROPRIEDADES FÍSICAS DO BLOCO CELULAR
DE CONCRETO AUTOCLAVADO E BLOCOS CERÂMICOS PARA CONSTRUÇÕES
NA SUINOCULTURA / Robson Welder Rodrigues Pio; orientadora
Maritane Prior; coorientador Thiago Guerra. -- Cascavel,
2025.
76 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) --
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências
Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Energia na Agricultura, 2025.

1. construções rurais. 2. economia energética. 3.
vedações. I. Prior, Maritane, orient. II. Guerra, Thiago ,
coorient. III. Título.

ROBSON WELDER RODRIGUES PIO

Desempenho térmico e propriedades físicas do bloco celular de concreto autoclavado e blocos cerâmicos para construções na suinocultura

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes renováveis e racionalização de energia na agroindústria e agricultura, APROVADO pela seguinte banca examinadora:



Orientadora - Maritane Prior

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



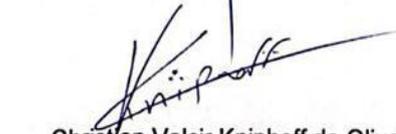
Alfredo Petruski

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

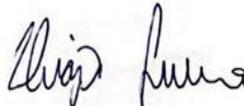


Samuel Nelson Melegari de Souza

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Christian Valcir Kniphoff de Oliveira
Centro Universitário de Cascavel (UNIVEL)



Thiago Guerra

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 07 de março de 2025

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção mundial de carne Suína (mil ton.).....	4
Figura 2 - Exportação brasileira de carne suína (mil ton.) – série histórica.....	5
Figura 3 – Classificação geral dos concretos leve.....	11
Figura 4 – Concreto Leve.....	11
Figura 5 – Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.....	25
Figura 6 - Processos de transferência de calor por convecção. (a) Convecção forçada. (b) Convecção natural. (c) Ebulição. (d) Condensação.....	30
Figura 7 – Transferência de calor através de uma parede plana. (a) Distribuição de temperaturas. (b) Circuito.....	32
Figura 8 – Síntese da arquitetura bioclimática.....	38
Figura 9 – Amostras com identificação na estufa.....	42
Figura 10 – a) Aparato de aquecimento para realização do ensaio; b) Blocos durante realização do procedimento do ensaio.....	43
Figura 11 – Bloco cerâmico com regularização da face.....	46
Figura 12 – Bloco cerâmico posicionado na prensa para rompimento.....	47
Figura 13 – Projeto câmara de aquecimento.....	48
Figura 14 – Amostra de BCCA em processo de fixação dos termopares.....	49
Figura 15 – Câmara de aquecimento.....	49
Figura 16– Parede de bloco cerâmico.....	50
Figura 17 – Gráfico de representação da absorção dos BCCA quanto à absorção por capilaridade.....	55
Figura 18 - Gráfico de representação da absorção dos blocos cerâmicos quanto à absorção por capilaridade.....	55
Figura 19 – Gráfico representativo da variação de temperatura no ensaio de transferência de calor do BCAA – Lado quente e frio.....	60
Figura 20 – Gráfico representativo do resfriamento no ensaio de transferência de calor do BCAA – Lado quente e frio.....	61
Figura 21 – Gráfico representativo da variação de temperatura no ensaio de transferência de calor do Bloco cerâmico – Lado quente e frio.....	62
Figura 22 – Gráfico representativo do resfriamento no ensaio de transferência de calor do bloco cerâmico– Lado quente e frio.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição do tipo de suinocultura no Brasil	6
Tabela 2: Temperaturas corporais recomendadas para suínos	8
Tabela 3 - Resistência à compressão em função da massa específica aparente para concreto leve estrutural	10
Tabela 4: Classes, resistência à compressão e densidade de massa aparente seca dos BCCA.	17
Tabela 5: Condutividade térmica de materiais construtivos.....	24
Tabela 6 - Emissividades de alguns materiais a 300 K	28
Tabela 7: Estanqueidade dos blocos	39
Tabela 8: Condutividade térmica.....	39
Tabela 9 - Características físicas e resistências à compressão do BCCA.....	51
Tabela 10 - Características físicas e resistências à compressão do Bloco cerâmico (tijolo).....	52
Tabela 11 - Densidades, absorção e Índice de vazios do BCAA	53
Tabela 12 - Densidades, absorção e Índice de vazios do Bloco cerâmico (tijolo).....	54
Tabela 13 Parâmetros térmicas dos BCCA e Blocos cerâmicos segundo NBR 15220	56
Tabela 14 - Variação de temperatura nas faces do BCCA	58
Tabela 15 - Variação de temperatura nas faces do bloco cerâmico.....	59

Pio, Robson W.R. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto 2024. **Análise comparativa da eficiência térmica de BCCA e blocos cerâmicos para construções na suinocultura.** Maritane Prior. Thiago Guerra.

RESUMO

A carne suína é a proteína mais produzida e consumida no mundo, por isso, impulsiona a economia de países produtores e exportadores como o Brasil, o quarto maior neste cenário global. A elevada demanda impõe aos produtores a busca por maior produtividade em granjas, onde o conforto térmico é fator crucial. Os materiais utilizados em edificações para suinocultura (coberturas, paredes e pisos) podem apresentar alta transmitância térmica, que dificultam a manutenção de temperaturas adequadas, fato que onera a produção com climatização artificial. Considerando-se a variedade de materiais disponíveis para vedação e subdivisão de baias, este trabalho visa analisar as características físicas e térmicas de três tipos de blocos de vedação: concreto, cerâmico e BCCA (bloco de concreto celular autoclavado). Para tanto, foi conduzida uma análise experimental, baseada em ensaios laboratoriais, para caracterizar os blocos. As propriedades físicas foram determinadas de acordo com as normas técnicas específicas (NBRs). Estão incluídas a densidade aparente seca, a massa específica saturada, a absorção de água e a resistência à compressão. O desempenho térmico foi avaliado utilizando uma câmara de aquecimento para monitorar as variações de temperatura nas faces dos blocos ao longo do tempo, com termopares tipo "K", conectados a um sistema Arduino. Os dados foram coletados e analisados para determinar parâmetros como resistência térmica e atraso térmico. Os resultados indicaram que o BCCA apresentou melhor desempenho térmico, com maior atraso térmico e menor transmitância, enquanto o bloco cerâmico demonstrou maior capacidade de absorção e dissipação de calor. O bloco de concreto apresentou características intermediárias. Após três horas de aquecimento, a diferença de temperatura entre as faces quente e fria foi de 155,8 °C para o BCCA e 170,7 °C para o bloco cerâmico, com atrasos térmicos de 5 e 3 horas, respectivamente. Em termos de absorção por capilaridade, o BCCA registrou 2,66 g/cm² em 72 horas, enquanto o bloco cerâmico alcançou 1,03 g/cm². Conclui-se, portanto, que a escolha do material mais adequado depende das condições climáticas locais e das necessidades específicas da instalação. O BCCA apresenta-se como promissor para regiões com elevada amplitude térmica, enquanto o bloco cerâmico pode ser mais adequado para regiões com menor variação de temperatura. A análise das propriedades físicas e térmicas deve guiar a decisão, com vistas a otimizar o conforto térmico dos animais, reduzir o consumo de energia e garantir a sustentabilidade da produção.

PALAVRAS-CHAVE: construções rurais; economia energética; vedações.

Pio, Robson W.R. Western Paraná State University, August, 2025. **Thermal performance and physical properties of autoclaved aerated concrete (aac) blocks and ceramic blocks for use in swine production facilities.** Maritane Prior. Thiago Guerra.

ABSTRACT

Pork is the most globally produced and consumed protein worldwide; therefore, it boosts the economy of producing and exporting countries such as Brazil, which is the fourth largest producer in this global scenario. This increasing demand compels producer to enhance their productivity at swine farming sheds, where thermal comfort is a critical factor. Building materials used in swine facilities (roofs, walls, and floors) may show some high thermal transmittance, which hinder the maintenance of suitable temperatures. This management can overtax production with artificial climate control systems. Considering the wide range of materials available for enclosure and pen subdivision, this study aimed at analyzing the physical and thermal characteristics of three types of enclosure blocks: concrete, ceramic, and Autoclaved Aerated Concrete (AAC). Thus, an experimental analysis was carried out, based on laboratory essays, to characterize the studied blocks. Physical properties were determined according to established technical standards (NBRs), including dry bulk density, saturated specific gravity, water absorption, and compressive strength. Thermal performance was evaluated using a heating chamber to monitor temperature variations on block surfaces over time via type "K" thermocouples, connected to an Arduino system. Data were collected and analyzed to determine parameters such as thermal resistance and thermal delay. Results indicated that AAC showed the best thermal performance, with the highest thermal delay and the lowest transmittance, whereas the ceramic block displayed the greatest heat absorption and dissipation capabilities. The concrete block presented intermediate characteristics. After three hours of heating, the temperature difference between hot and cold faces was 155.8 °C for AAC and 170.7 °C for the ceramic block, with thermal delays of 5 and 3 hours, respectively. Regarding capillary water absorption, AAC registered 2.66 g/cm² over 72 hours, while the ceramic block reached 1.03 g/cm². So, it could be concluded that the selection of the most suitable material depends on local weather conditions and specific requirements to the sheds. AAC was recorded to be promising for regions with high thermal amplitude, while the ceramic block could be more available for areas with less temperature variation. This analysis of physical and thermal properties should guide decision-making processes to optimize animal thermal comfort, reduce energy consumption, and ensure sustainable production practices.

KEYWORDS: Agricultural buildings; energy conservation; walls.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 SUINOCULTURA	4
2.1.1 Cenário global e nacional da suinocultura	4
2.1.2 Interferência da temperatura ambiente no desenvolvimento animal na suinocultura	6
2.2 CONCRETO	8
2.2.2 Concreto leve	9
2.2.2.1 Concreto celular	11
2.2.2.1.1 Bloco de concreto celular autoclavado	12
2.3 BLOCOS CERÂMICOS	14
2.4 ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	15
2.4.1 Argamassa polimérica	15
2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS BLOCOS	16
2.6 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS BLOCOS	18
2.7 FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	24
2.7.1 Condução	25
2.7.2 Radiação	27
2.7.3 Convecção	29
2.8 DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM PAREDES PLANAS	31
2.8.1 Fluxo térmico	31
2.8.2 Resistência térmica	33
2.9 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS	35
2.10 ESTUDOS SOBRE O TEMA	38
3. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	40
3.2 MATERIAIS	40
3.2.1 Equipamentos	41
3.3 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS DOS BLOCOS	41
3.3.1 Densidade aparente seca (ρ_s)	41
3.3.2 Massa específica saturada (ρ_{sat})	43
3.3.3 Massa específica Real (ρ_r)	44
3.3.4 Absorção (A)	44

3.3.5 Índice de vazios (I_v)	45
3.3.6 Resistência à compressão axial (f_{cb})	45
3.3.7 Absorção de água por capilaridade.....	47
3.3.8 Parâmetros térmicos dos blocos	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS MATERIAIS.....	51
4.2 ENSAIOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	56
5. CONCLUSÃO.....	65
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

Conforme dados da ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal), em 2024, o Brasil foi o quarto maior produtor de suínos no mundo, e atingiu a marca de 5,2 milhões de toneladas, enquanto em todo Planeta foram produzidas 113,324 milhões de toneladas no total. Ainda segundo dados da mesma empresa, o Brasil destaca-se como o terceiro maior exportador da carne suína. Os Estados Unidos são o segundo maior exportador e a União Europeia desponta como a terceira desta lista.

O relatório anual da ABPA (Associação Brasileira de Proteína Animal), publicado em 2024, afirma que a produção de suínos no país, em 2023, cresceu 418% em relação à produção de 1980. Tais dados demonstram que a produção nacional subiu quase cinco vezes em cerca de cinquenta anos de evolução da cadeia produtiva.

Mesmo havendo aumento na produção, os criadores de suínos enfrentam desafios constantes. Para que haja uma expansão contínua na suinocultura, os produtores necessitam dispendir atenção quanto ao conforto térmico e ao bem-estar dos animais, especialmente porque no Brasil, onde as temperaturas elevadas são comuns, a produção de suínos é desfavorecida. Os suínos têm pouca adaptação a climas quentes devido ao seu sistema termorregulador pouco desenvolvido, tornando-os sensíveis ao calor na fase adulta e ao frio quando jovens (CAMPO *et al.*, 2008).

As características físicas da edificação são itens fundamentais no planejamento e projeto de sistemas para produção de suínos, já que mudanças estruturais após a construção são financeiramente dispendiosas. Segundo Oliveira e Silva (2006), o ambiente interno de um edifício destinado à suinocultura influencia direta ou indiretamente o consumo de ração e de água, o comportamento excretor e o ganho de peso dos animais. As instalações estão expostas diretamente às condições climáticas (insolação, temperatura, ventos, chuva, umidade do ar), portanto, devem ser construídas com o objetivo principal de reduzir as influências que podem prejudicar os animais (GHELFI FILHO, 1991). Uma maneira para minimizar a influência dos elementos climáticos externos é a partir da modificação da concepção arquitetônica e dos materiais de construção utilizados nas instalações para animais (TINÔCO, 2004).

Destaca-se que construções de edificações rurais que tenham maior eficiência térmica não são importantes apenas para a melhor produção de proteínas animais, no caso de suínos, mas também auxiliam na redução de consumo energético ao longo da cadeia produtiva e, conseqüentemente, reduzem os custos do produto final.

As primeiras civilizações desenvolveram suas construções com materiais locais em

consonância com as condições ambientais. Devido ao crescimento populacional, estes materiais tornaram-se escassos, aumentaram a demanda por recursos e conseqüentemente ampliaram os impactos ambientais. Estes eventos impulsionam a pesquisa científica, focada no desenvolvimento de novos processos e materiais que reduzam significativamente o impacto ambiental e minimizem o consumo de energia (CHEHEBE, 1997).

Desde a segunda metade do século XIX, a energia tem papel essencial na sociedade industrial moderna, pois impulsiona inúmeros sistemas e equipamentos. Para enfrentar o desafio do atual consumo de combustíveis fósseis, é de extrema importância considerar o complexo cenário atual de debates sobre energia. É imperativo reduzir drasticamente o uso destes combustíveis até eliminá-los completamente, devido às altas emissões de gases de efeito estufa resultantes de sua utilização.

O concreto celular destaca-se no cenário da construção civil devido às suas elevadas propriedades de isolamento térmico. Esta característica intrínseca, aliada à sua capacidade de minimizar a transferência de calor, proporciona significativa economia de energia em longo prazo, e impacta positivamente a eficiência energética das edificações.

Em relação às vantagens inerentes ao concreto celular, materiais como o bloco de concreto convencional e o bloco cerâmico (tijolo) mantêm ampla utilização no setor construtivo, cada qual com suas particularidades. Os blocos cerâmicos demonstram bom desempenho no isolamento acústico e na regulação higrotérmica, além de serem produzidos com matérias-primas de origem natural, o que contribui para uma menor pegada ambiental. No entanto, o tijolo demonstra menor eficiência térmica comparativamente ao concreto celular, resultando em maior demanda energética para climatização artificial dos ambientes. Diante disso, o presente estudo visa analisar comparativamente o desempenho térmico do bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) e do bloco cerâmico em construções destinadas à suinocultura, para identificar a solução mais eficiente em termos de economia energética relacionada à climatização artificial dessas instalações.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho objetivou identificar o desempenho térmico entre diferentes blocos de vedação (BCCA e bloco cerâmico) para a utilização em construções rurais (suinocultura), a partir de ensaios laboratoriais de transferência térmica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar ensaios para a caracterização física dos blocos cerâmico e BCCA, com base nas normas de ensaio ou adaptações para ensaios que não constem em norma;
- Executar ensaios de transferência de calor com o uso de uma câmara de transferência de calor para os dois tipos de blocos;
- Identificar qual o modelo de bloco é mais vantajoso para a utilização quanto à eficiência térmica em edificações rurais para a suinocultura e
- Realizar comparação dos resultados do comportamento térmico dos materiais com bibliografia existente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUINOCULTURA

2.1.1 Cenário global e nacional da suinocultura

A produção mundial de carne suína está em forte crescimento ao longo dos anos, segundo dados do relatório anual ABPA e FAO (*Food and Agriculture Organization*), em 2021, foram mais de 107 milhões de toneladas produzidas no total, conforme demonstrado na Figura 01. No ano subsequente, este número aumentou para aproximadamente 113 milhões de toneladas e, em 2023, houve um salto de 15,9% na produção global, em relação a 2021, que chegou a mais de 124 milhões de toneladas. A carne suína foi a mais produzida mundialmente naquele período, seguida pelas proteínas de peixe e frango.



Figura 1 – Produção mundial de carne Suína (mil ton.)

Fonte: ABPA (2023).

O crescimento de produção mundial foi impulsionado pela recuperação da produção na China e no Brasil e compensou a redução na União Europeia. Segundo a ABPA (2023), em relação ao consumo global, a China foi a maior importadora em 2022, quando atingiu a marca de 2,05 milhões de toneladas trazidas de outros países, seguida pelo Japão que exportou mais de 1,52 milhões de toneladas. Os dois países juntos representaram 33% do mercado de carne suína importada em 2022. Destaca-se ainda a queda de mais de 52% na importação de carne suína na China do ano de 2021 para 2022.

O mesmo relatório da ABPA mostra que o Brasil aparece entre os maiores produtores

mundiais. Em 2022, ocupou a quarta posição do *ranking*, com um total de 4,98 milhões de toneladas de carne suína, além de registrar um leve crescimento em relação ao ano anterior. O Brasil ainda está entre os quatro maiores exportadores neste segmento, e chegou à marca de 1,13 milhões de toneladas mandadas para fora do país em 2022. Os maiores consumidores dos cortes suínos exportados são os asiáticos (74,76%), seguidos por países dos continentes americano e africano. A força do Brasil no comércio exterior de alimentos suínos pode ser verificada quando se compara à quantidade de carne exportada em 2012 (582 mil toneladas) com o total de 2022 (1.132 mil toneladas), quando ocorreu um crescimento de mais de 94% em apenas dez anos. Este fato está demonstrado no gráfico da Figura 02.



Figura 2 - Exportação brasileira de carne suína (mil ton.) – série histórica

Fonte: ABPA (2023).

Vale ressaltar que dos produtos suínos produzidos em 2021 no Brasil, 76% deles foram consumidos no mercado interno e 24% se destinou para exportação, resultado que deixou o país em 4º lugar no *ranking* de exportadores de suínos.

Segundo Marcelo Miele, pesquisador da EMBRAPA Suínos e Aves, em entrevista para o periódico “O presente rural”, a agropecuária no Brasil é diversificada. Ela é caracterizada tanto em função do porte do estabelecimento, quanto em função do uso de mão-de-obra de parentes e até mesmo pela atividade econômica exercida. Segundo o Censo Agropecuário do IBGE, publicado em 2017, os grandes e médios produtores com mão de obra

essencialmente contratada (não familiar) representavam 23% dos estabelecimentos e 33% do pessoal ocupado, mas concentravam 77% do valor da produção. Por sua vez, a agricultura familiar com mão de obra essencialmente com laços de parentesco abrangia 77% dos estabelecimentos e 67% do pessoal ocupado, mas concentrava 23% do valor da produção.

Para a suinocultura esse cenário não é diferente, ainda conforme Miele, os produtores de suínos no país podem ser divididos em duas grandes categorias: suinocultura industrial e suinocultura de pequena escala (local).

De acordo com o Censo do IBGE, realizado em 2017, o mercado de suinocultura era representado por cerca de 20 mil produtores, com mais de cem (100) cabeças, e foi responsável por mais de 93% de todo produto suíno produzido no Brasil na época. Ainda segundo o Censo, aproximadamente 3/4 dos estabelecimentos da suinocultura industrial é de base familiar (73%), mas os produtores com mão de obra contratada detêm mais da metade do rebanho (57%) e dos suínos produzidos (69%), conforme Tabela 1, extraída do Censo de 2017.

Tabela 1: Distribuição do tipo de suinocultura no Brasil

Variável	Suinocultura industrial	Suinocultura de pequena escala
Nº de estabelecimentos (% familiar)	20.132 (73%)	75.717 (71%)
Rebanho de mil cabeças (% familiar)	29.181 (43%)	2.779 (69%)
Rebanho médio em cabeças por estabelecimento familiar e não familiar (% familiar)	844 e 3.083 (265%)	36 a 39 (9%)

Fonte: Adaptado / IBGE - Censo Agropecuário 2017.

2.1.2 Interferência da temperatura ambiente no desenvolvimento animal na suinocultura

Silva *et al.* (2005) afirmam que os diferentes tipos de materiais aplicados nas edificações da suinocultura podem promover alterações ambientais, mudando assim o comportamento tanto de matrizes quanto de leitões. De acordo com Turco *et al.* (1998), algumas alterações fisiológicas podem surgir em animais expostos ao estresse por calor. E alguns deles são o aumento dos movimentos respiratórios e as alterações na temperatura corporal. O estresse calórico pode influenciar também a amamentação de matrizes, o desempenho produtivo (peso corporal, espessura de toucinho, escore corporal visual e

composição dos tecidos corporais) e o desempenho reprodutivo (intervalo desmame-estro e duração do estro) (MARTINS e COSTA, 2008).

No Brasil, o clima é de extrema importância, visto como fator de adaptação de suínos, sendo que, a grande área de clima tropical nacional, associada à elevada umidade em certas regiões, temperaturas elevadas, não trazem compatibilidade para a suinocultura (TEIXEIRA, 1997). A principal condição de conforto térmico de uma instalação de suínos é o balanço térmico ser nulo, quando o calor produzido pelo organismo animal, adicionado ao calor ganho do ambiente, deve ser igual ao calor dissipado.

Haja vista as trocas de calor entre o animal e o ambiente, com um total de 24 horas, pode-se considerar que elas ocorrerão na mesma magnitude para animais criados em temperaturas cíclicas ou constantes como médias diárias iguais. O desempenho zootécnico dos animais não é afetado pelas variações cíclicas da temperatura, cuja amplitude não deve exceder 5 ou 8 °C. Porém, amplitudes superiores a esses valores são prejudiciais ao desempenho dos animais para crescimento (OLIVEIRA, 1999).

Os suínos são animais homeotérmicos, ou seja, mantêm a temperatura do núcleo corporal dentro de limites relativamente estreitos, mesmo que a temperatura ambiente flutue. Para isso, esses animais utilizam processos que dissipam ou aumentam as taxas de calor de acordo com o ambiente (BAÊTA e SOUZA, 1997). Assim, para que mantenham a temperatura corporal constante, os suínos lançam mão de alguns artifícios fisiológicos, caso sejam submetidos a temperaturas que estejam fora de zona de termoneutralidade desses animais (SURUBBI, 2005).

O melhoramento genético acentuou a sensibilidade dos suínos ao frio quando jovens, e ao calor, quando adultos. As modernas linhagens de suínos de alta produção adquiriram maior sensibilidade aos limites de temperatura, logo, são sensíveis a climas tropicais e subtropicais e as últimas fases de produção são as mais afetadas pelas temperaturas elevadas (MOREIRA *et al.*, 2003). Para que a produção de suínos não tenha perdas em decorrência do ambiente, os animais devem ser mantidos dentro da termoneutralidade, que está representada na Tabela 2.

Suínos expostos ao calor apresentam menor ganho de peso, menor consumo de ração e pior eficiência quanto à utilização do alimento, enquanto a eficiência de utilização de proteína e a taxa de deposição de proteína são menores em relação aos animais mantidos em ambiente termoneutro (TAVARES *et al.*, 2000). Manno *et al.* (2006) relataram que, na fase de crescimento, a alta temperatura influencia negativamente o ganho de peso de suínos, mantém a deposição de proteína na carcaça, visto que o efeito do estresse não está somente limitado à redução do consumo de ração.

Tabela 2: Temperaturas corporais recomendadas para suínos

Espécies	Temperaturas ótimas (°C)		Temperaturas críticas (°C)	
	Mínimas	Máximas	Máximas	Mínimas
Matrizes	18	30	30	15
Leitão nascido	32	27	35	15
1 semana	28	25	35	13
2 semanas	26	22	35	12
3 semanas	24	21	35	08
4 semanas	22	20	31	08
5 a 8 semanas Engorda (kg)	22	18	30	05
20-30	20	16	27	04
30-60	18	12	27	15
60-100	18	30	27	15

A umidade relativa crítica mínima é <40%; ótima é 70% e a máxima crítica é >90%;

Fonte: Adaptado / ESMAY (1982).

2.2 CONCRETO

O concreto, material fundamental para a construção civil, resulta da mistura precisa de aglomerantes, agregados e água, conforme destacam Pinheiro, Muzardo e Santos (2004). Enquanto o cimento Portland, aglomerante mais comum, reage com a água proporcionando a consolidação da mistura, os agregados, como areia e brita, conferem volume ao concreto e economia à produção. Esses agregados, classificados como miúdos e graúdos, atuam em conjunto com o aglomerante para garantir resistência e durabilidade, características do concreto. Segundo as NBR 7211 e 7217, respectivamente, os agregados miúdos são aqueles que se encontram em uma faixa granulométrica de 2mm a 0,075mm, enquanto os agregados graúdos são aqueles que se enquadram na faixa de 4,8mm até 100 mm de diâmetro máximo.

O concreto, além de sua robustez característica, revela também uma notável versatilidade. Como um artista diante de uma paleta de cores, o engenheiro pode incorporar à mistura elementos como cinza volante, pozolanas e sílica ativa, além de aditivos químicos específicos, que modificam e aprimoram suas propriedades. Assim, abre-se um leque de possibilidades para a criatividade arquitetônica, como atestam Pinheiro, Muzardo e Santos (2004). Tal maleabilidade, aliada à resistência proporcionada pela armadura e à distribuição

uniforme de cargas intrínseca à sua estrutura monolítica – qualidade destacada por Andrade (2016) –, consolida o concreto como um material completo, capaz de atender às mais diversas demandas estruturais com segurança e precisão.

A eficiência construtiva também está entre as vantagens do concreto. Um projeto bem planejado, com estrutura em concreto, e executado de acordo com as normas técnicas, implica agilidade na construção e redução de custos com manutenção, fato que o torna atrativo tanto do ponto de vista econômico quanto do prático. Sob condições adequadas de plasticidade, compactação e cura, o concreto apresenta baixa permeabilidade à água, além de contribuir para a durabilidade da construção. A armadura, quando protegida pela cobertura de concreto especificada em projeto, garante resistência adicional ao fogo. Acrescentam-se às características anteriores a resiliência do material a choques, vibrações, intempéries, as variações térmicas e o desgaste mecânico, como enumera Andrade (2016), e o resultado é um material completo e vantajoso para a construção civil.

2.2.2 Concreto leve

A densidade do concreto leve é um aspecto importante, pois não deve ultrapassar 2000 kg/m³, enquanto o concreto convencional, que utiliza agregados naturais, geralmente apresenta densidade em torno de 2300 kg/m³. A leveza no concreto é alcançada pela utilização de agregados mais leves, que permitem que parte dos espaços vazios seja preenchida por ar, conforme discutido por Isaias (2011). E a formulação do concreto leve é composta pela combinação de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo leve e água, conforme destacado por Benvegnú, Alves e Luz (2023).

De acordo com a pesquisa de Maycá *et al.* (2008), os concretos leves podem ser classificados em diferentes categorias, incluindo o concreto com agregado leve, o concreto celular ou aerado e o concreto sem finos. Esta classificação pode ser ainda ampliada para incluir o concreto leve misto, conforme mencionado por Argelin (2014).

A norma ABNT NBR 35: 1995, nomeada como "Agregados leves para concreto estrutural - Especificação" define os valores mínimos de resistência à compressão em função da massa específica aparente, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resistência à compressão em função da massa específica aparente para concreto leve estrutural

Resistência à compressão aos 28 dias (MPa) – Valores mínimos	Massa específica aparente (kg/m ³) – Valores máximos
28	1840
21	1760
17	1680

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 35 (1995).

Em 1970, a *Cement and Concrete Association* apresentou uma classificação dos concretos leves, dividindo-os em quatro tipos principais. Dentre eles, o concreto celular autoclavado foi denominado *aerated concrete*, ou concreto aerado. Outra variação é o concreto sem finos, que é uma forma leve de concreto, composta apenas por cimento, agregado graúdo e água. Essa versão se diferencia do concreto convencional pela ausência de agregado miúdo, que resulta em uma leveza e porosidade características, conforme destacado por Mota (2001). O mesmo autor afirma que, na formulação do concreto aerado, utiliza-se uma combinação de agregados finos, aglomerantes, água e agentes que formam poros na argamassa. Mota ainda aborda que um componente químico específico atua como agente gerador de poros, reagindo com os outros elementos da mistura para criar um gás que preenche os poros na estrutura celular do concreto. Esta abordagem resulta em um material leve e com propriedades isolantes, tornando-o ideal para diversas aplicações na construção civil.

No concreto espumoso, a formação de poros na argamassa celular ocorre pela adição de uma mistura de espuma ou de um produto químico que, ao ser agitado mecanicamente, gera espuma. A falta de agregados graúdos, combinada com a presença desses poros, resulta em um concreto celular de baixa densidade (MOTA, 2001). A leveza torna o concreto espumoso uma alternativa eficiente, com uma variedade de aplicações. Ainda conforme Mota (2001), o concreto aerado com agregado leve possui uma estrutura celular que se assemelha à do concreto aerado, mas inclui a adição de agregados leves. Tal combinação resulta em uma massa específica reduzida, uma vez que os poros na estrutura celular, junto com os vazios do agregado leve, contribuem para a leveza. A classificação geral dos concretos leves, conforme definida pela *Cement and Concrete Association* (1970), pode ser vista na Figura 3.

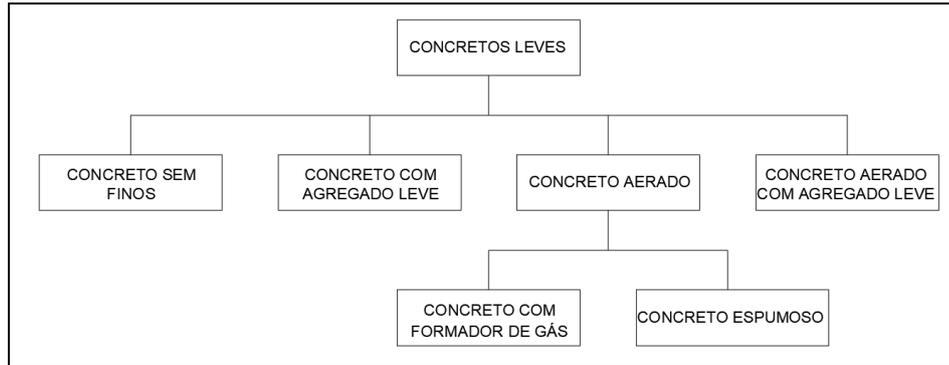


Figura 3 – Classificação geral dos concretos leve

Fonte: *Cement and Concrete Association* (1970).

A norma ABNT NBR 9778: 2005, intitulada “Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica”, estabelece que a densidade da massa aparente do concreto leve no estado fresco deve ser obtida através do quociente entre a massa do concreto leve no estado fresco, inserido em um recipiente totalmente preenchido, e o valor do volume do recipiente.

O EPS (poliestireno expandido), mais conhecido como isopor (Figura 4), é outro material adicionado à mistura para formar o concreto leve. Porém, para utilizar esse tipo de concreto, é fundamental ter um conhecimento técnico que abranja tanto a aplicação do material quanto as mudanças em suas propriedades, como resistência mecânica, condutividade térmica, durabilidade e trabalhabilidade, entre outras. Isso se deve ao fato de que as alterações nessas características são inevitáveis (ROSSIGNOLO, 2009).

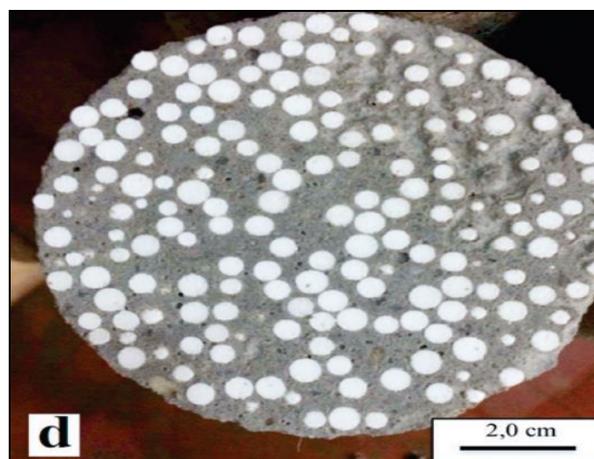


Figura 4 – Concreto Leve

Fonte: Churocof (2023).

2.2.2.1 Concreto celular

O concreto celular, frequentemente chamado de concreto aerado, é produzido pela

adição de aditivos que criam bolhas de ar na mistura. Apesar de sua popularidade, a eficácia deste método é debatida por diversos autores, que afirmam que a qualidade final do material depende mais da pasta do que do concreto em si. Rossignolo (2009) e Ibrahim *et al.* (2013) demonstram preocupações sobre tal dependência, e questionam a validade do processo. Por outro lado, Argelin (2014) ressalta que, mesmo diante dessas questões, o concreto celular é leve e possui propriedades térmicas e acústicas superiores em comparação ao concreto convencional. A produção envolve a adição de agentes espumantes que podem ser incorporados tanto em ambientes controlados quanto diretamente nos canteiros de obras. A flexibilidade permite uma gama de aplicações, embora seja essencial avaliar sua resistência e durabilidade para assegurar a segurança estrutural.

O concreto celular é um material aerado caracterizado por uma matriz sólida composta por células de hidrogênio. Essas células são formadas por bolhas que podem surgir de reações químicas ou serem inseridas manualmente durante o processo de produção (MOTA, 2001; FERREIRA, 2024). Por outro lado, o concreto celular autoclavado é classificado pela norma ABNT NBR 13438:2021 como um concreto leve, que é produzido industrialmente. Ele utiliza materiais calcários, como cimento e cal, além de granulados ricos em sílica.

Na sequência produtiva, estabelecida na norma ABNT NBR 13438:2021, a combinação dos componentes do concreto celular autoclavado é expandida pela utilização de agentes geradores de gás, água e, se necessário, aditivos. Posteriormente, o material é submetido a condições de pressão e de temperatura dentro de uma câmara de vapor saturado. Como resultado desse processo, são obtidas células fechadas, aeradas e uniformemente distribuídas ao longo da estrutura do concreto celular autoclavado.

2.2.2.1.1 Bloco de concreto celular autoclavado

O Bloco de Concreto Celular Autoclavado (BCCA) tem um histórico recente, iniciado em meados do século XX, com suas origens registradas em uma série de patentes de processo. O químico alemão Michaelis, registrado como o inventor da cura a vapor em 1880, obteve uma patente para seus processos de cura a vapor. Em 1889, o checo Hoffman testou e patenteou com sucesso um método conhecido como "aerado", que envolvia a utilização de dióxido de carbono no concreto. Este marco histórico evidencia a evolução e o desenvolvimento do BCCA ao longo do tempo, como destacado por Vitorino *et al.* (2023).

Os avanços na tecnologia do concreto leve são resultados de inovações significativas ao longo da história. Um marco importante ocorreu em 1914, quando os americanos Dyer e

Aylsworth patentaram um método que utilizava pó de alumínio e hidróxido de cálcio para criar uma composição cimentícia porosa, que contribuiu para a produção de concretos aerados. Em 1920, o arquiteto sueco Axel Eriksson também fez sua parte ao patentear o "método de cal", que consistia na fabricação de uma mistura aerada a partir de calcário e ardósia moída. Tais inovações foram fundamentais para o desenvolvimento das técnicas de concreto leve, conforme mencionado por Vitorino *et al.* (2023).

Na atualidade, a Alemanha é um dos principais produtores globais de blocos de concreto celular autoclavado. A introdução desta tecnologia no Brasil ocorreu por intermédio da empresa PUMEX, sediada no estado de São Paulo, em 1957, e da SICAL, situada em Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, em 1982. Com uma composição que engloba cimento Portland, areia de alta sílica, cal virgem, aditivos como *filler* calcário e agente expensor (pó de alumínio), o BCCA é formado (VITORINO *et al.*, 2023).

Ao longo dos anos, o setor da construção civil tem tradicionalmente empregado materiais cerâmicos e de base cimentícia na execução de alvenarias. No entanto, em face da disponibilidade de novos materiais ou processos produtivos que oferecem características aprimoradas, a possibilidade de mudança surgiu, como evidenciado pela adoção dos blocos de concreto celular autoclavado, conforme discutido por Viana (2013).

A produção do Bloco de Concreto Celular Autoclavado (BCCA) envolve a introdução controlada de ar em uma solução aquosa de cimento, a qual facilita a incorporação de elementos gasosos por meio de uma reação hidrotermal. Esta reação é mediada pela adição de agentes como pó de magnésio, zinco e alumínio, conforme explicado por Costa (2016).

A estrutura celular do bloco é formada pelo confinamento das bolhas gasosas que se desenvolvem durante a expansão do material dentro de um molde. Em seguida, o bloco passa por um processo de cura em autoclave, durante o qual se formam silicatos de cálcio. Tais silicatos são responsáveis por formar a resistência necessária ao bloco, conforme destacado por Costa (2016).

Em contrapartida ao alto custo de aquisição dos blocos de concreto celular autoclavado, que pode tornar sua utilização inviável em certas situações, eles oferecem um desempenho notável em termos de leveza e isolamento térmico (COSTA, 2016). Além disso, devido à sua leveza, esses blocos têm dimensões maiores em comparação com outros tipos e o resultado é uma redução significativa no tempo e nos custos de construção, além de diminuir a carga aplicada sobre a estrutura, conforme destacado por Ferraz (2011).

2.3 BLOCOS CERÂMICOS

O bloco cerâmico, também conhecido como tijolo cerâmico, é um dos materiais de construção mais antigos e é ainda vastamente utilizado nas edificações atuais. De acordo com Barbosa (2011), a produção do bloco cerâmico traz a argila como matéria-prima, que confere a ele a coloração avermelhada, característica do material. O processo de fabricação inclui a queima em altas temperaturas, que podem chegar até 800 °C.

Com ampla disponibilidade e custo acessível em todo o território nacional, o bloco de tijolo comum tornou-se uma escolha comum na construção civil. Porém, sua viabilidade, em termos de sustentabilidade, é questionável devido ao alto consumo energético durante o processo de fabricação e ao uso de argila, um recurso não renovável (COSTA, 2016).

Os blocos cerâmicos trazem várias vantagens em seu uso como durabilidade, baixos custos iniciais e de manutenção e um bom desempenho em relação ao fogo e ao isolamento térmico. Esses blocos também se destacam pela estabilidade, indeformabilidade e estanqueidade em relação à água, conforme mencionado por Nogueira (2004). Eles também permitem variações geométricas com dimensões diferentes e não apresentam restrições ambientais, o que possibilita seu reaproveitamento em projetos futuros. Assim, a versatilidade e a eficiência fazem dos blocos cerâmicos uma escolha popular na construção civil.

Segundo Barbosa (2011), algumas vantagens do bloco cerâmico são a resistência à umidade e à movimentação térmica, resistência à ação do vento, resistência a infiltrações de água pluvial, segurança para os usuários e propriedades de isolamento térmico e acústico. Enquanto suas desvantagens são o peso elevado, a perda de tempo na execução, a geração de entulho em grande quantidade, que resulta em desperdício de materiais e dificuldades na instalação de sistemas elétricos e hidráulicos (VIANA, 2013). A falta de esquadro nas peças e a irregularidade nas dimensões podem contribuir para o aumento do tempo de revestimento, conforme mencionado por Costa (2016). Tais imperfeições dificultam a aplicação adequada dos materiais, cujo resultado é um trabalho mais demorado e, potencialmente, custos adicionais.

Barbosa (2015) estudou uma série de desvantagens ligadas ao uso de blocos cerâmicos. O autor concluiu que a falta de mão de obra qualificada pode levar a problemas graves, como o desperdício de materiais e maior propensão a erros durante a construção. Além disso, o peso elevado das vedações pode ser uma preocupação, assim como a probabilidade desses blocos por apresentar trincas e fissuras. Outro ponto crítico mencionado é a ascensão de umidade, que pode resultar em descolamento do revestimento, que

compromete a integridade e a estética das edificações. Estas desvantagens devem ser cuidadosamente consideradas ao optar por esse material na construção civil.

2.4 ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, os quais podem conter ainda aditivos e adições minerais (ISAIAS, 2010).

A argamassa de assentamento tem a função de interligar os blocos, além de transmitir e uniformizar as tensões entre as unidades da alvenaria. Ela é composta por uma mistura de cimento Portland, cal hidratada, areia, água e, ocasionalmente, aditivos (SILVA, 2007). A norma NBR 13281: 2023, intitulada “Argamassas inorgânicas - Requisitos e métodos de ensaios Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos”, estabelece os requisitos de qualidade para a argamassa de assentamento, seja em obras ou na forma industrializada.

2.4.1 Argamassa polimérica

Conforme a NBR 16590-1, intitulada “Composto polimérico para assentamento de alvenaria de vedação Parte 1: Requisitos (2017)”, (VEJA) o composto polimérico não cimentício é definido como uma mistura homogênea, fabricada com agregados miúdos, carga mineral, água e uma combinação de resinas poliméricas. É necessário que cada bloco cumpra os requisitos estabelecidos na norma correspondente, de acordo com os sistemas e componentes do material utilizado, que incluem:

- a) Bloco de concreto: Atende à ABNT NBR 6136: 2016;
- b) Bloco de Concreto Celular Autoclavado: Atende à ABNT NBR 13438: 2021;
- c) Bloco de Solo-cimento: Atende à ABNT NBR 10834: 2012;
- d) Tijolo maciço: Atende à ABNT NBR 7170 (Cancelada);
- e) Sílico calcário: Atende às ABNT NBR 14974-1: 2003 e ABNT NBR 14974-2: 2003;
- f) Bloco cerâmico: Atende à ABNT NBR 15270-1: 2023;

Tendo em vista que os blocos estudados no presente trabalho são: Bloco cerâmico, Bloco de concreto e Bloco de Concreto Celular Autoclavado, as especificações de acordo com cada norma são:

- a) Bloco Cerâmico: A ABNT NBR 15270-1: 2023, os requisitos gerais da fabricação são: os elementos devem ser fabricados com conformação plástica de matéria-prima argilosa, pode conter ou não aditivos e sintetizados com altas temperaturas.
- b) Bloco de Concreto: A ABNT NBR 6136: 2016 afirma que os blocos devem ser fabricados e curados com processos que garantam a obtenção de um concreto homogêneo e compacto de maneira suficiente, ou seja, que atenda a todas as exigências contidas na norma. Os lotes têm que ser identificados pelo fabricante de acordo com a procedência e transportados cubados ou paletizados para não prejudicar a qualidade do bloco.
- c) Bloco de Concreto Celular Autoclavado: A ABNT NBR 13438: 2021 define duas classificações para o BCCA: BCCA do tipo vedação, estrutural e para preenchimento de lajes e BCCA especiais. Devem atender às tolerâncias exigidas de fabricação pelo controle de qualidade, cujas medidas são: Espessura: +/- 3 mm; Altura: +/- 3 mm; Comprimento: +/- 3 mm;

2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS BLOCOS

Na atualidade, os fabricantes do BCCA (Bloco de Concreto Celular Autoclavado) da DVG Sical estão buscando métodos para melhorar os desempenhos mecânicos, físicos e químicos. O objetivo é oferecer ao mercado um produto diferenciado que atenda aos requisitos estabelecidos pela Norma de Desempenho NBR 15575-1 (2021), que trata das edificações habitacionais e seus requisitos gerais.

O processo de fabricação e cura do concreto celular autoclavado permite a observação de suas propriedades físicas, fundamentais para suas principais aplicações na construção civil (CLERICE, 2023). As propriedades estão listadas abaixo:

a) Densidade

O processo de fabricação e a reação química envolvida na produção dos Blocos de Concreto Celular Autoclavado (BCCA's) proporcionam uma grande redução na massa específica desses blocos em comparação aos blocos de vedação convencionais (BENVEGNÚ; ALVES; LUZ, 2023). Durante a fabricação, a mistura de cimento, os materiais silicosos e os produtos químicos específicos permitem a formação de uma estrutura celular uniforme e altamente porosa no BCCA. Este processo cria um composto químico, o silicato de cálcio, que é caracterizado por sua grande resistência mecânica e estabilidade dimensional (LIBRELOTTO, 2010). A incorporação de ar e a formação de poros esféricos de dimensões

regulares contribuem para a redução da massa específica do material.

A baixa massa específica dos BCCA's, em comparação aos blocos convencionais, traz diversas vantagens. Primeiro, reduz as cargas aplicadas sobre a estrutura da edificação, que permite a utilização de fundações e elementos estruturais menores e mais econômicos (MINOTTO; VARGAS, 2011). Além disto, a leveza facilita o manuseio e a instalação dos blocos, aumentando a produtividade da obra. Outra consequência importante da baixa massa específica é a melhoria no desempenho térmico e acústico dos BCCA's. A estrutura celular e os poros presentes no material atuam como excelentes isolantes, além de reduzirem a transmissão de calor e som através das paredes (LIBRELOTTO, 2010). Isso contribui para o conforto e a eficiência energética das edificações, especialmente em climas extremos.

Conforme estabelecido pela ABNT NBR 13438 (2021), os blocos devem atender aos requisitos especificados na Tabela 4, os quais são avaliados de acordo com a ABNT NBR 13440 (2021) Blocos de concreto celular autoclavado – Métodos de ensaio.

Tabela 4: Classes, resistência à compressão e densidade de massa aparente seca dos BCCA.

Classes	Resistência à compressão (seca)		Densidade aparente (seca)
	Valor médio mínimo (Mpa)	Menor valor isolado (Mpa)	Médias (kg/m ³)
C12	1,2	1	< 450
C15	1,5	1,2	< 500
C25	2,5	2	< 550
C35	3,5	3	< 600
C45	4,5	4	< 650

Considerar: 1 Mpa 1N/mm² = 10 kgf/cm²

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 13438 (2021).

b) Porosidade

De acordo com as indicações de Silva (2011), a porosidade do BCCA pode alcançar até 80% de seu volume, conferindo-lhe uma notável leveza em comparação com o concreto convencional. A composição é estritamente inorgânica e proporciona uma boa resistência acústica, térmica e ao fogo, embora esta seja mitigada em detrimento da resistência mecânica, que diminui à medida que a porosidade aumenta (CLERICE, 2023). A elevada porcentagem de vazios tem impacto na absorção de água e influencia diretamente o desempenho do material em aplicações de alvenaria (BENVEGNÚ; ALVES; LUZ, 2023).

Devido ao elevado índice de porosidade do material, sua interação com a água ocorre principalmente por absorção. É possível melhorar a velocidade do processo de cura ao permitir que o bloco entre em contato com a argamassa durante a aplicação, contudo, isso

pode resultar em perda de trabalhabilidade durante a fase de assentamento em obra (CLERICE, 2023)

c) Condutividade Térmica

A diminuição da massa específica dos blocos de concreto celular autoclavado é determinada pela presença de poros na estrutura interna, conferindo-lhes baixa condutividade térmica (MOTA, 2001). A condutividade térmica do material pode ser aumentada ao ser considerada a presença de água nos vazios que antes estavam preenchidos com ar, uma vez que a água conduz mais calor do que o ar (BENVEGNÚ; ALVES; LUZ, 2023).

Em termos de condutividade térmica, o BCCA apresenta aproximadamente 0,16 W/m°C, enquanto os blocos cerâmicos demonstram cerca de 2,49 W/m°C, representando assim uma redução de aproximadamente 94% entre eles (CLERICE, 2023).

d) Resistência Mecânica

A característica de um material que o predispõe a resistir a esforços sem sofrer deformações permanentes é denominada resistência mecânica. A determinação da resistência mecânica de cada material pode ser realizada utilizando-se o módulo de elasticidade (E), também conhecido como módulo de Young, que permite relacionar tensão e deformação em um regime linear de elasticidade. A resistência do bloco pode ser significativamente afetada devido à baixa densidade e ao elevado índice de porosidade do material, a qual resulta em um teor elevado de umidade (CLERICE, 2023).

Conforme observado por Legatski (1978), a resistência à compressão dos blocos de concreto celular autoclavado (BCCA) é influenciada pela umidade dos corpos de prova e pelas condições de cura durante a mistura dos componentes de produção, além de a densidade exercer influência direta sobre a resistência à compressão. Aumentar a densidade tende a elevar a resistência à compressão, porém, um incremento no teor de umidade resulta na diminuição da resistência do bloco. Ademais, o processo de cura realizado no interior da autoclave interfere diretamente no resultado da relação de resistência mecânica.

2.6 PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS BLOCOS

O conceito de conforto térmico é abordado de maneira diferente por diversos autores. Segundo Coutinho (2009), conforto térmico é definido como um estado de espírito que reflete a satisfação do indivíduo em relação às condições térmicas do ambiente em que se encontra. Enquanto, Duarte (2016) sustenta que esse conceito é influenciado por uma interação complexa de fatores psicológicos, físicos e fisiológicos.

2.6.1 Desempenho térmico

De acordo com a Revista de Engenharia Civil (2022), a ausência de conforto térmico não apenas diminui a produtividade das pessoas, mas também afeta o consumo de energia elétrica devido ao uso de equipamentos de climatização em ambientes que não oferecem condições térmicas adequadas para seus ocupantes. Para avaliar o desempenho térmico, a Norma Brasileira NBR 15575-1 (ABNT, 2013) estabelece vários procedimentos. Um deles é o método simplificado, que verifica a conformidade com os requisitos e critérios com base na transmitância térmica e na capacidade térmica das paredes de cobertura e fachadas.

Além disso, a norma também descreve o método de simulação computacional, que é aplicado quando os valores de transmitância e/ou capacidade térmica não atendem aos requisitos mínimos estabelecidos na norma. Os parâmetros para avaliação do desempenho térmico, conforme definidos pela Norma Brasileira NBR 15220 (2005), são apresentados no Quadro 1.

Quadro 01: Definição dos parâmetros de acordo com a NBR 15220.

Parâmetros	Definição conforme a NBR 15220
Resistência térmica total	Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais internas e externas.
Transmitância térmica	Inverso da resistência térmica total.
Capacidade térmica	Quantidade de calor necessária para variar a temperatura de um sistema em uma unidade.
Atraso térmico	Tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor.
Absortância	Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície.

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

Concretos leves apresentam propriedades térmicas distintas dos concretos convencionais. A presença de ar encapsulado na estrutura porosa dos agregados leves diminui a condutividade térmica e reduz tanto a absorção quanto a transmissão de calor em comparação aos agregados densos tradicionais. Esta característica isolante contribui para a estabilidade térmica de edificações, minimiza a influência da radiação solar incidente em fachadas e coberturas e assim proporciona um ambiente interno mais confortável (EUROLIGHTCON, 1998 *apud* ROSSIGNOLO, 2003).

A seleção criteriosa dos materiais de vedação desempenha um papel crucial na

eficiência energética das edificações, bem como impacta diretamente no conforto térmico dos usuários. No Nordeste brasileiro, região com alta incidência solar, esta escolha torna-se ainda mais relevante, pois a carga térmica proveniente da radiação solar influencia significativamente o consumo energético dos sistemas de climatização. Em edifícios comerciais com extensas áreas envidraçadas, por exemplo, esses sistemas podem representar até 70% do consumo total de eletricidade. (BEZERRA, 2003).

Priorizar a eficiência energética na concepção arquitetônica e de engenharia é fundamental, visando à redução do consumo e ao aumento do conforto. Projetos inteligentes, como o Pavilhão de Sevilha (Espanha), demonstram a viabilidade desta abordagem, além de alcançarem redução de 75% no consumo de energia para climatização em comparação a sistemas convencionais. (GELLER, 1994 *apud* BEZERRA, 2003).

a) Termografia

A termografia infravermelha visa converter a radiação térmica emitida pela superfície de um objeto, que é invisível ao olho humano devido ao seu comprimento de onda, em imagens visíveis que detalham o perfil de temperaturas (SOUSA, 2010). Para isso, utiliza-se uma câmera termográfica, que capta a radiação térmica ou infravermelha emitida pelo objeto, sem a necessidade de contato direto.

Este método de ensaio oferece várias vantagens em relação a outros, conforme destacado por Mendonça, Amaral e Catarino (2013). Além de ser não destrutivo, é econômico e preciso, pois mostra eficiência tanto em termos de trabalho quanto de equipamento, devido à sua capacidade para realizar análises em áreas grandes ou pequenas.

Conforme observado por Barreira (2004, p. 27), os equipamentos de termografia captam a radiação infravermelha e a convertem em sinais elétricos, que resultam na obtenção de uma imagem térmica do objeto estudado, cujas cores diferentes são atribuídas a temperaturas específicas.

Os cálculos dos parâmetros térmicos apresentados a seguir estão em conformidade com a NBR 15220-2: 2023 – Desempenho térmico de edificações, Parte 2 – Elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo aplicáveis aos BCCAs, blocos cerâmicos e blocos de concreto.

b) Resistência térmica total (RT)

A resistência térmica total é o total das resistências térmicas equivalentes das camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais internas e externas.

Abaixo está a equação correspondente.

$$RT = Rt + Rse + Rs \quad (1)$$

Em que: R_t = Espessura do bloco dividido pela condutividade térmica (λ);

R_{se} = Resistência superficial externa;

R_{si} = Resistência superficial interna (definida na tabela A1 da NBR 15220:2005).

c) Transmitância Térmica (U)

As interações energéticas entre os ambientes internos e externos de um edifício são reguladas pelo seu envelope construtivo, que inclui todos os elementos relevantes para esse processo. É essencial considerar todos os aspectos que impactam essa dinâmica dentro desse "envelope". Onde, um exemplo é a radiação solar que se comporta de maneira diferente dependendo dos materiais utilizados (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2019). Os materiais citados podem ser divididos em duas categorias: opacos e transparentes. A principal diferença entre eles é que os materiais transparentes têm a capacidade de permitir a entrada da radiação solar no ambiente interno, já os opacos não possuem essa capacidade (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2019).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2019), as camadas que compõem um fechamento apresentam diferentes resistências térmicas. A transmitância térmica, o inverso da resistência total do fechamento, é a variável mais significativa para a análise do desempenho de fechamentos opacos. Por meio desta variável, é possível analisar o comportamento dos fechamentos opacos em relação à transmissão de calor, que proporcionam contribuições valiosas para a comparação entre diversas opções de fechamentos.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (2)$$

Onde: U = Transmitância térmica (W/m^2K);

R_t = Resistência térmica (K/W);

d) Resistência térmica

Conforme descrito por Lamberts, Dutra e Pereira (2019), a capacidade de um material de resistir à transferência de calor é definida como resistência térmica. À medida que a espessura do material aumenta, a resistência à transferência de calor também aumenta, contudo, um aumento na condutividade térmica resulta em maior taxa de transferência de calor entre as superfícies, o que conseqüentemente reduz a resistência térmica do material.

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad (3)$$

Onde: R = Resistência térmica do material (m^2K/W);

L = Espessura do material (m);

λ = Condutividade térmica do material ($W/m K$);

Em materiais heterogêneos, a resistência térmica é calculada pela soma das resistências térmicas de cada elemento composto deste material. A resistência térmica total é a simples soma das resistências térmicas de cada elemento constituinte (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2019).

e) Resistência térmica de câmeras de ar

É possível diminuir de maneira considerável as trocas de calor em um fechamento opaco, que ao aplicar materiais de baixa condutividade ou construir fechamentos de várias camadas, torna-se uma câmera de ar. As trocas dentro da câmera são por convecção e radiação, que dependem da inclinação do fechamento e da direção do fluxo de calor. A troca térmica por radiação necessita da emissividade da superfície do material em contato com a camada de ar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2019).

f) Capacidade térmica (CT)

Será calculada a capacidade térmica dos blocos, ou seja, a quantidade de calor necessária para variar a temperatura de um sistema em uma unidade, conforme a equação a seguir:

$$CT = \text{espessura do bloco} * c * \rho \quad (4)$$

Em que: CT = Capacidade térmica ($J/m^3.K$);

c = Capacidade térmica específica do material ($J/kg.K$);

p = Massa específica do natural material (kg/m^3);

g) Atraso térmico (φ)

O tempo decorrido de uma variação térmica em um material e a manifestação na superfície oposta de um componente construtivo, quando exposto a um regime de transmissão de calor periódico, será calculado conforme os seguintes critérios.

$$\varphi = 0,7284 \sqrt{RT * CT} \quad (5)$$

Em que: φ = Atraso térmico (h);

RT = Resistência térmica do material ($K.m^2/W$);

CT = Capacidade térmica do material ($J/m^3.K$).

h) Ensaios para análise térmica

A Revista de Engenharia Civil (2022) sugere que, para analisar o desempenho térmico e o fluxo de calor em materiais de construção, sejam empregadas fontes de calor e termopares colocados em várias áreas do material. Esta abordagem para simular o comportamento térmico tem sido amplamente explorada em estudos recentes, frequentemente utilizando câmeras termográficas.

Um estudo realizado por Silva, Cahino e Melo (2012) investigou a condutividade térmica de miniparedes e outros parâmetros, conforme estabelecido na Norma Brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005). As miniparedes eram feitas de tijolos cerâmicos e blocos de concreto, com parte do agregado miúdo substituído por Etileno Acetato de Vinila (EVA). Termopares do tipo K foram instalados nas superfícies das miniparedes para medições a cada minuto, enquanto uma lâmpada de 250 W, posicionada a 20 cm da parede, atuou como fonte de calor. Os resultados mostraram melhoria no atraso e na resistência térmica dos blocos que continham EVA.

Specht *et al.* (2010) realizaram uma avaliação sobre a transferência de calor em várias configurações de paredes de tijolos maciços. Para condução do estudo, foi construída uma câmara térmica utilizando madeira, poliestireno expandido (EPS) e papel laminado. Dentro da

câmara, foram instalados uma lâmpada incandescente de 250 W e um reostato. As variações de temperatura foram medidas com termopares do tipo K, colocados em diferentes camadas das paredes. Os resultados obtidos mostraram-se alinhados com as simulações matemáticas realizadas.

i) Condutividade térmica

Lamberts, Dutra e Pereira (2019) afirmam que a condutividade térmica de um material é uma variável que está relacionada à sua densidade e indica a capacidade que este material tem para conduzir calor em diferentes quantidades ao longo do tempo. À medida que a densidade do material diminui, a condutividade térmica também tende a diminuir. A tabela a seguir apresenta a condutividade térmica de diversos materiais de construção.

Tabela 5: Condutividade térmica de materiais construtivos

Material	λ (W/m K)
Concreto normal, densidade de 2.200 a 2.400 kg/m ³ .	1,750
Tijolo de barro, densidade de 1.000 a 1.300 kg/m ³ .	0,700
Madeira, densidade de 450 a 600 kg/m ³ .	0,150
Isopor, densidade de 25 a 40 kg/m ³ .	0,035

Fonte: Adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira (2019).

j) Densidade de Fluxo de calor

Ao escolher uma vedação para uma edificação, o principal objetivo é minimizar ao máximo as grandes perdas de calor durante o inverno e também os elevados ganhos de calor no verão (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2019). Considera-se que a temperatura interna é maior que a externa no inverno, portanto, o fluxo de calor total pode ser calculado por:

$$q = U \cdot \Delta t \quad (6)$$

Em que: q = Densidade de fluxo de calor (W/m²);

U = Transmitância térmica (W/m²K);

Δt = Diferença entre temperaturas interior e exterior (K);

2.7 FUNDAMENTOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Bergman *et al.* (2014) estabelecem que a transferência de calor é um fenômeno natural

que ocorre sempre que há uma diferença de temperatura, seja dentro de um único material ou entre diferentes materiais. Ainda, segundo os autores, existem três mecanismos principais de transferência de calor, ilustrados na Figura 5. A condução descreve a transferência de calor através de um material sólido ou fluido estático devido a um gradiente de temperatura. A convecção, por outro lado, envolve a transferência de calor entre uma superfície e um fluido em movimento a diferentes temperaturas. Por fim, a radiação térmica é a emissão de energia na forma de ondas eletromagnéticas por qualquer superfície com temperatura acima do zero absoluto. Esse mecanismo permite a transferência de calor entre duas superfícies a diferentes temperaturas, mesmo na ausência de um meio material entre elas.

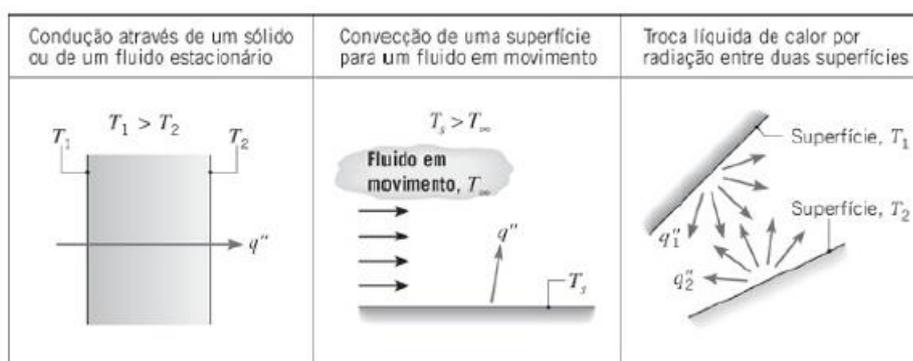


Figura 5 – Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.

Fonte: Bergman *et al.* (2014)

Kreith e Bohn (2003) definem a transmissão de calor como o fluxo de energia entre regiões com diferentes temperaturas. Assim como a gravidade, a transferência de calor é um fenômeno universal, presente em todo o universo. No entanto, diferente da gravidade, que é regida por uma única lei fundamental, a transferência de calor é um processo mais complexo, governado pela interação de diversos princípios físicos.

2.7.1 Condução

A condução térmica é o processo de transferência de energia que ocorre sem deslocamento significativo de massa, devido a uma diferença de temperatura dentro de um sistema ou entre sistemas em contato. A energia flui da região de maior temperatura para a de menor temperatura através das vibrações moleculares, que transmitem energia cinética entre si (PAULA, 2002).

Conforme Bergman *et al.* (2014), condução térmica é a transferência de energia que ocorre em nível microscópico, das partículas mais energéticas de uma substância para suas

vizinhas menos energéticas, através da interação entre elas. Este processo pode acontecer em sólidos, líquidos e gases. Ainda segundo os autores, a condução térmica está intrinsecamente ligada à atividade atômica e molecular. Em essência, temperaturas mais elevadas correspondem a moléculas com maior energia cinética. As colisões constantes entre moléculas vizinhas resultam na transferência de energia das moléculas mais energéticas para as menos energéticas. Assim, na presença de um gradiente de temperatura, a condução térmica direciona o fluxo de energia da região mais quente para a mais fria naturalmente.

A transferência de calor por condução através de um material depende de diversos fatores, incluindo sua geometria, espessura, composição e a diferença de temperatura entre suas extremidades. Um exemplo disto é quando se isola um reservatório de água quente com lã de vidro, por exemplo, reduz-se a perda de calor. Quanto mais espesso o isolamento, menor é a perda. Da mesma forma, a perda de calor aumenta quando a temperatura ambiente diminui. Além disso, reservatórios maiores, com maior área superficial, perdem calor mais rapidamente (ÇENGEL e GHAJAR, 2011).

Consideremos a condução de calor em regime permanente através de uma parede plana de espessura L e área A , com uma diferença de temperatura $\Delta T = T_2 - T_1$ entre suas faces. Observa-se experimentalmente que o fluxo de calor (Q) dobra quando dobramos a diferença de temperatura (ΔT) ou a área (A), e se reduz à metade quando dobramos a espessura (L). Portanto, a taxa de condução de calor através de uma parede plana é diretamente proporcional à diferença de temperatura e à área, e inversamente proporcional à espessura (ÇENGEL e GHAJAR, 2011). No que tange às paredes de vedação planas, a lei de Fourier norteia o cálculo da taxa de transferência de calor. Segundo Çengel (2011), esta fórmula foi apresentada pela primeira vez por Jean Baptiste Joseph Fourier, em seu livro sobre transferência de calor, em 1822, e pode ser demonstrada pela seguinte expressão:

$$Q_{cond} = \frac{A \cdot \lambda}{L} \cdot \Delta t \quad (7)$$

Em que: Q_{cond} = Taxa de fluxo de calor transferida por condução (W);

λ = Condutividade térmica do material (W/m.K);

A = Área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m²);

Δt = Diferença entre temperaturas interior e exterior (K);

L = Espessura do material pelo qual o calor é transferido (m);

2.7.2 Radiação

Segundo Çengel e Ghajar (2011), a Radiação é definida como a energia emitida pela matéria na forma de ondas eletromagnéticas (fótons), devido às alterações nas configurações eletrônicas de átomos ou moléculas. Diferente da condução e da convecção, a transferência de calor por radiação não requer um meio interveniente. De fato, a transferência é mais rápida (à velocidade da luz) e não sofre atenuação no vácuo, e este é o mecanismo pelo qual a energia solar alcança a Terra.

Çengel e Ghajar (2011) ainda afirmam que, na transferência de calor, o foco reside na radiação térmica, emitida pelos corpos em função de sua temperatura. Esta forma de radiação difere de outras radiações eletromagnéticas, como raios X, raios gama, micro-ondas e ondas de rádio e televisão, que não estão relacionadas à temperatura. É possível observar que todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto emitem radiação térmica.

A radiação térmica, emitida por qualquer matéria com temperatura acima de 0 K, caracteriza-se como uma forma de transferência de calor que dispensa um meio material para propagação, visto que a energia é transmitida por ondas eletromagnéticas (ou fótons). Desta forma, corpos com diferentes temperaturas, quando em proximidade, trocam calor por radiação. O fluxo de calor resultante representa a taxa líquida de energia trocada entre os corpos, fenômeno descrito matematicamente pela equação a seguir (INCROPERA e WITT, 1998).

$$Q_{rad} = A_1 \sigma \epsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (8)$$

Onde: Q_{rad} = Taxa de fluxo de calor radiante (W);

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

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

ϵ_1 = Fator de emissividade da superfície (adimensional);

T_1 = Temperatura da superfície 1 (K);

T_2 = Temperatura da superfície 2 (K).

A emissividade (ϵ), cujo valor varia de 0 a 1, quantifica o quão próxima uma superfície está do comportamento de um corpo negro ideal ($\epsilon = 1$). Valores de emissividade

para diferentes superfícies podem ser consultados na Tabela 6. A absorptividade (α) representa a fração da radiação incidente sobre uma superfície que é absorvida por ela. Assim como a emissividade, a absorptividade varia de 0 a 1. Um corpo negro, sendo um absorvedor perfeito, possui $\alpha = 1$, caracterizando-se também como um emissor perfeito (ÇENGEL e GHAJAR, 2011).

Ainda segundo os autores, tanto a emissividade quanto a absorptividade de uma superfície dependem, em geral, da temperatura e do comprimento de onda da radiação. A Lei de Kirchhoff estabelece que, para dada temperatura e dado comprimento de onda, a emissividade e a absorptividade de uma superfície são iguais. Em diversas aplicações práticas, quando a temperatura da superfície e a temperatura da fonte de radiação são semelhantes, considera-se a absorptividade média igual à emissividade média.

Tabela 6 - Emissividades de alguns materiais a 300 K

Materiais	Emissividades
Alumínio em tolhas	0,07
Alumínio anodizado	0,82
Cobre polido	0,03
Ouro polido	0,03
Prata polida	0,02
Aço Inoxidável polido	0,17
Pintura preta	0,98
Pintura branca	0,90
Papel branco	0,92-0,97
Pavimento asfáltico	0,85-0,93
Tijolo vermelho	0,93-0,96
Pele humana	0,95
Madeira	0,82-0,92
Terra	0,93-0,96
Água	0,96
Vegetação	0,92-0,96

Fonte: Adaptado de Bergman (2014).

2.7.3 Convecção

Convecção é o mecanismo de transferência de energia entre uma superfície sólida e um fluido (líquido ou gás) em movimento, que combina os efeitos da condução e do movimento do fluido. A taxa de transferência de calor por convecção aumenta com a velocidade do fluido. Na ausência de movimento do fluido, a transferência de calor entre a superfície e o fluido adjacente ocorre por condução pura. Kreith (2003) descreve a convecção como um processo de transporte de energia que combina condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura. Usa-se a seguinte equação para o cálculo da taxa de fluxo de calor transferido por convecção:

$$Q_{conv} = Ah(T_1 - T_2) \quad (9)$$

Em que: Q_{conv} = Taxa de fluxo de calor trocada por convecção (W);

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

h = Coeficiente médio de transferência de calor por convecção ($Wm^{-2}K^{-1}$);

ϵ_1 = Fator de emissividade da superfície (adimensional);

T_1 = Temperatura da superfície (K);

T_2 = Temperatura do fluido circulante (K).

Kreith e Bohn (2003) detalham o processo convectivo como: o calor que flui por condução da superfície para as partículas de fluido adjacentes e aumenta tanto a temperatura como a energia interna dessas partículas. Elas, então, se movem para regiões de menor temperatura no fluido, onde se misturam e transferem parte da energia para outras partículas. Neste processo, ocorre o fluxo tanto de fluido quanto de energia. A energia é armazenada nas partículas do fluido e transportada pelo movimento de massa.

Quando um fluido em repouso é aquecido (INCROPERA e WITT, 1998), o gradiente de temperatura gera um gradiente de densidade, que causa deslocamento cíclico da massa do fluido e assim forma correntes convectivas. Nesse caso, o transporte de calor ocorre por meio do transporte de massa. Se o fluido escoa sobre uma superfície sólida a uma temperatura diferente, há troca de calor entre a superfície e o fluido. Se o movimento do fluido é induzido mecanicamente, caracteriza-se a convecção forçada. Se o movimento resulta apenas da diferença de densidade, tem-se a convecção natural (ou livre).

O coeficiente de transferência de calor por convecção depende do fluido, do tipo de escoamento, do acabamento superficial e de várias propriedades termodinâmicas e de transporte do fluido (INCROPERA e WITT, 1998).

Em superfícies verticais, a velocidade do ar influencia as trocas de calor por convecção (FROTA, 2003). Mesmo quando o movimento do ar é natural, como o vento, o mecanismo de troca entre a superfície e o ar é considerado convecção forçada. Em superfícies horizontais (FROTA, 2003), o sentido do fluxo é crucial. No fluxo ascendente, o movimento coincide com o deslocamento natural do ar aquecido. No fluxo descendente, o ar aquecido pela superfície encontra uma barreira para sua ascensão, que dificulta a convecção, o deslocamento e a substituição por ar mais frio. Bergman *et al.* (2014) também abordam a complexidade da determinação das taxas de transferência de calor quando há movimento de massa do fluido.

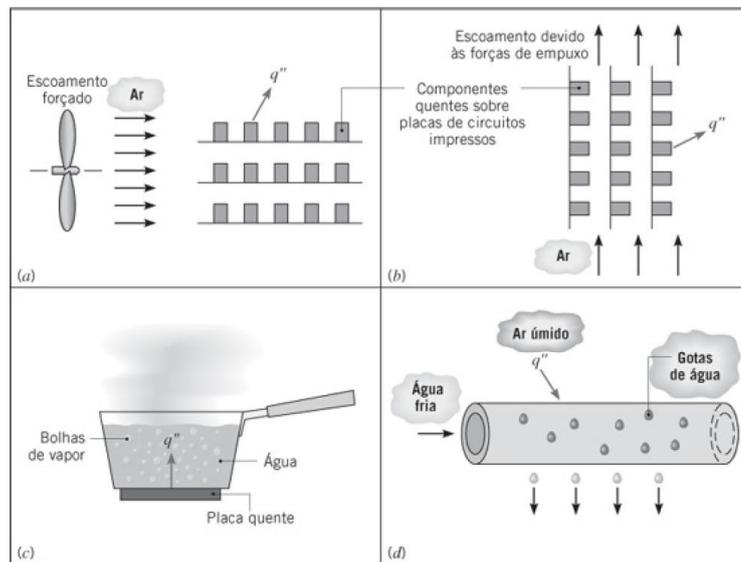


Figura 6 - Processos de transferência de calor por convecção. (a) Convecção forçada. (b) Convecção natural. (c) Ebulição. (d) Condensação.

Fonte: Bergman *et al.* (2014)

A transferência de calor por convecção classifica-se de acordo com a natureza do escoamento do fluido (BERGMAN *et al.*, 2014). Em convecção forçada, o escoamento é induzido por meios externos, como ventiladores, bombas ou ventos. Um exemplo é o resfriamento de componentes eletrônicos em placas de circuito impresso por convecção forçada com o auxílio de um ventilador (Figura 6a). Já na convecção livre (ou natural), o escoamento resulta das forças de empuxo, originadas por diferenças de densidade causadas por variações de temperatura no fluido. A transferência de calor a partir de componentes em

placas de circuito impresso dispostas verticalmente e expostas ao ar ilustra este processo (Figura 6b). O ar aquecido em contato com os componentes torna-se menos denso, visto que ascende devido às forças de empuxo e é substituído por ar ambiente mais frio.

Embora as Figuras 6a e 6b representem, respectivamente, convecção forçada pura e convecção natural pura, condições de convecção mista (combinação de ambas) podem ocorrer. Por exemplo, na Figura 6a, se as velocidades do escoamento forem baixas e/ou as forças de empuxo forem significativas, um escoamento secundário induzido pelo empuxo, perpendicular ao escoamento forçado, pode influenciar a transferência de calor. Na Figura 6b, a convecção mista ocorreria se um ventilador forçasse o ar para cima, auxiliando o escoamento por empuxo, ou para baixo, opondo-se a ele.

2.8 DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM PAREDES PLANAS

Na condução de calor unidimensional em uma parede plana, a temperatura varia apenas na direção x , e o calor é transferido exclusivamente nessa direção (BERGMAN *et al.*, 2014). Na Figura 7a, uma parede plana separa dois fluidos a diferentes temperaturas. A transferência de calor ocorre por convecção do fluido quente ($T_{\infty,1}$) para uma face da parede ($T_{s,1}$), por condução através da parede, e por convecção da outra face da parede ($T_{s,2}$) para o fluido frio ($T_{\infty,2}$). A análise inicia-se ao determinar a distribuição de temperaturas na parede, a partir da qual se obtém a taxa de transferência de calor por condução.

2.8.1 Fluxo térmico

Problemas de transferência de calor em paredes podem ser simplificados com a introdução do conceito de resistência térmica, em analogia a circuitos elétricos (ÇENGEL e GHAJAR, 2011). Nesta analogia, a resistência térmica corresponde à resistência elétrica, a diferença de temperatura à tensão, e a taxa de transferência de calor à corrente elétrica (Figura 7).

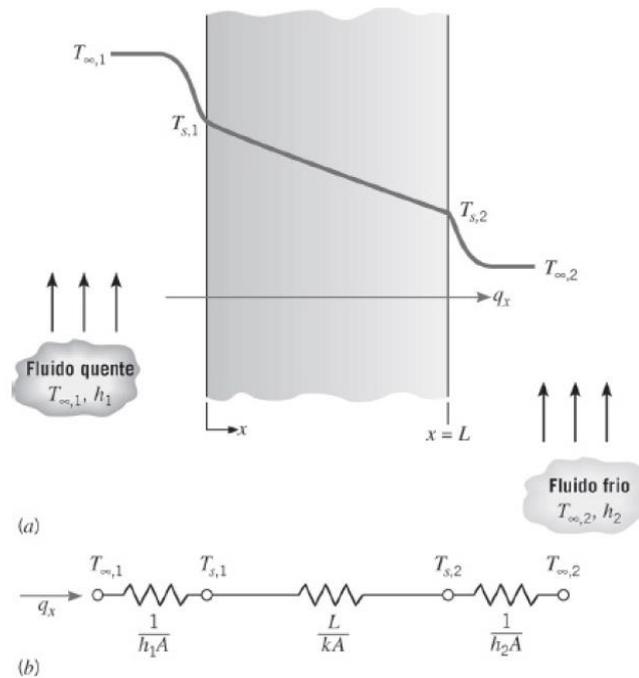


Figura 7 – Transferência de calor através de uma parede plana. (a) Distribuição de temperaturas. (b) Circuito

Fonte: Bergman et al. (2014)

Bergman *et al.* (2014) afirmam que, em condução unidimensional em regime estacionário, sem geração interna de calor e com condutividade térmica constante, observa-se uma variação linear da temperatura ao longo da coordenada x . Esta distribuição de temperatura pode ser expressa pela seguinte equação:

$$T_x = (T_{s2} - T_{s1}) \frac{x}{L} + T_{s1} \quad (10)$$

Em que: T_x = Temperatura na distância x da face da parede com fluxo quente (K);

T_{s2} = Temperatura na face da parede com fluxo frio (K);

T_{s1} = Temperatura na face da parede com fluxo quente (K);

x = Distância variável internamente à parede ($0 \leq x \leq L$);

L = Espessura da parede (m).

Ainda segundo o autor, com a distribuição de temperaturas definida, pode-se utilizar a lei de Fourier para determinar a taxa de transferência de calor por condução na equação 11:

$$q_x = -\lambda A \frac{dT}{dx} = \frac{\lambda A}{L} (T_{s1} - T_{s2}) \quad (11)$$

Em que:

q_x = Taxa de transferência de calor (W);

λ = Condutividade térmica do material (W/m.K);

A = Área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m²);

T_{s2} = Temperatura na face da parede com fluxo frio (K);

T_{s1} = Temperatura na face da parede com fluxo quente (K);

x = Distância variável internamente à parede ($0 \leq x \leq L$);

L = Espessura da parede (m).

Considera-se A como a área da parede perpendicular à direção da transferência de calor. Em uma parede plana, A é constante e independente de x . O fluxo térmico, portanto, pode ser expresso como:

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = \frac{\lambda}{L} (T_{s1} - T_{s2}) \quad (12)$$

Onde: q_x = Fluxo térmico (W);

q_x'' = Taxa de transferência de calor (W);

λ = Condutividade térmica do material (W/m.K);

A = Área da superfície que participa do processo de transferência de calor (m²);

T_{s2} = Temperatura na face da parede com fluxo frio (K);

T_{s1} = Temperatura na face da parede com fluxo quente (K);

L = Espessura da parede (m).

As equações apresentadas indicam que tanto a taxa de transferência de calor quanto o fluxo térmico são constantes e independentes de x .

2.8.2 Resistência térmica

De acordo com Çengel e Ghajar (2011), no caso específico de transferência de calor unidimensional em regime estacionário, sem geração interna de energia e com propriedades constantes, a equação da taxa de transferência de calor sugere uma analogia importante entre a difusão de calor e a difusão de carga elétrica. Assim como uma resistência elétrica está associada à condução de eletricidade, define-se uma resistência térmica para a condução de calor. Define-se, portanto, resistência como a razão entre um potencial motriz e a taxa de transferência correspondente, a resistência térmica em uma parede plana, derivada da equação

da taxa de transferência de calor, expressa-se como:

$$R_{t,cond} = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{q_x} \quad (13)$$

Em que: $R_{t,cond}$ = Resistência térmica na condução (m^2K/W);

q_x = Fluxo térmico (W);

T_{s2} = Temperatura na face da parede com fluxo frio (K);

T_{s1} = Temperatura na face da parede com fluxo quente (K).

Bergman *et al.* (2014) definem também uma resistência térmica associada à transferência de calor por convecção em uma superfície. A partir da lei do resfriamento de Newton, esta resistência expressa-se como:

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} \quad (14)$$

Em que: $R_{t,conv}$ = Resistência térmica na convecção (m^2K/W);

q = Fluxo térmico (W);

T_s = Temperatura na face da parede (K);

T_∞ = Temperatura no fluido (K).

Çengel e Ghajar (2011) abordam que a troca radiante entre uma superfície e sua vizinhança pode ser relevante, especialmente quando o coeficiente de transferência de calor por convecção é baixo (comum em convecção natural em gases). Define-se uma resistência térmica para radiação, com base na equação da taxa de transferência de calor por radiação, como:

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{viz}}{q_{rad}} \quad (15)$$

Em que: $R_{t,rad}$ = Resistência térmica na radiação (m^2K/W);

q_{rad} = Fluxo térmico por radiação (W);

T_s = Temperatura na face da parede (K);

T_{viz} = Temperatura na vizinhança à parede (K).

2.9 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

O clima, definido como a combinação das condições atmosféricas que influenciam a habitabilidade de um local (KÖPPEN, 1948), é fator crucial para o projeto de edificações. A bioclimatologia, pioneiramente aplicada à arquitetura por Olgyay (1963), busca adaptar as edificações ao clima local para garantir o conforto térmico com o mínimo de recursos (OLGYAY, 1998). Tal abordagem integra biologia e clima, visando à harmonia entre a edificação e o ambiente (WATSON, 1998).

A crescente urbanização e o conseqüente aumento do tempo de permanência em ambientes construídos (RUPP *et al.*, 2015) intensificam a demanda por sistemas artificiais de climatização e iluminação (SORGATO *et al.*, 2016). Diante disso, muitos países têm implementado regulamentações para a eficiência energética em edificações. A arquitetura bioclimática surge como uma solução para aliar conforto térmico e eficiência energética (DAMJANOVIC *et al.*, 2014; INVIDIATA e GHISI, 2016; MANZANO-AGUGLIARO *et al.*, 2015; SALKINI *et al.*, 2017; THOMSEN *et al.*, 2016; TRIANA *et al.*, 2015; VICTORIA *et al.*, 2017). Edificações bioclimáticas, por meio da adequada escolha de materiais e orientação, alcançam maior estabilidade térmica e higrométrica (MISSOUM *et al.*, 2016; SOUTULLO *et al.*, 2016). Considerando as oito zonas bioclimáticas brasileiras definidas pela NBR 15220 (ABNT, 2003), cada zona requer estratégias específicas. Estudos no Brasil têm se concentrado principalmente nas zonas 1, 3, 6 e 8 (INVIDIATA e GHISI, 2016; SILVA *et al.*, 2016; SORGATO *et al.*, 2016; TRIANA *et al.*, 2015), investigando o desempenho termoenergético e a influência das estratégias bioclimáticas.

A avaliação bioclimática é essencial para projetos arquitetônicos que buscam conforto térmico e visual com baixo consumo energético. O ser humano adapta suas construções ao clima local, bem como utiliza recursos como vento, luz solar e materiais disponíveis (OLGYAY, 1998). A arquitetura bioclimática visa atender às necessidades humanas com base nos recursos naturais do ambiente (CLÍMACO, 2008 *apud* FRANÇA e CRUCINSKY, 2010). Em autoconstruções, as estratégias bioclimáticas harmonizam a edificação com o meio ambiente e utilizam recursos como vento e sol para o conforto térmico (PROJETEE, 2022).

O projeto bioclimático deve ser um elemento fundamental desde a concepção, ao integrar os elementos naturais disponíveis (PINTO, 2009). A arquitetura tem a responsabilidade de projetar e construir edificações com menor impacto ambiental, posto que

exige dos profissionais conhecimento sobre a incorporação de informações ambientais em seus projetos (PINTO, 2009). Erros frequentes em projetos, como localização, dimensionamento, orientação e escolha de materiais, demonstram a falta de conhecimento sobre as condições climáticas e a pouca valorização de soluções climáticas adequadas (MASCARÓ, 1992 *apud* ROTTA, 2009).

Um projeto arquitetônico deve considerar o conforto do usuário e a eficiência energética com base na análise climática local (LAMBERTS *et al.*, 2014). A compreensão do uso do ambiente residencial é fundamental para atender às necessidades dos usuários, pois garante conforto visual e térmico. O projeto de ventilação, por exemplo, requer conhecimento sobre a direção, velocidade e frequência dos ventos locais (MASCARÓ, 1991). A vegetação, embora útil para regular a temperatura, deve ser utilizada com equilíbrio para não comprometer a iluminação interna (COSTA, 2007). Telhados verdes podem contribuir para a retenção de águas pluviais, redução da temperatura das superfícies, estabilização das variações de temperatura e minimização do efeito ilha de calor (TOMAZ, 2007 *apud* CARDOSO, 2009).

A inércia térmica, como estratégia bioclimática, pode ser utilizada para aquecimento ou resfriamento, dependendo das características climáticas da região (LAMBERTS *et al.*, 2014). O aquecimento solar passivo pode ser obtido por radiação solar direta, através de aberturas, ou indireta, por meio de solários, jardins de inverno ou paredes Trombe (LAMBERTS *et al.*, 2014). O tamanho, o número e a orientação das janelas influenciam significativamente o consumo de energia (BROWN e DEKAY, 2004 *apud* BAGNATI, 2013), e suas características devem atender às necessidades do ambiente e das atividades desenvolvidas (HERTZ, 1998 *apud* BAGNATI, 2013).

Quadro 2 - Estratégias de condicionamento propostas pela NBR 15220.

Estratégias	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas podem contribuir para otimizar o aquecimento dos suínos no período frio através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes pelo aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas pela desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida com a renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada pela evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido pelo uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas com o uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deveria ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também, é preciso se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois ele pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar é muito baixa e a temperatura do ar está entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporciona sensações térmicas mais agradáveis. Esta estratégia pode ser obtida pela utilização de recipientes com água e pelo controle de ventilação, necessária por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Fonte: (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003).

Segundo Brum, (2024), na arquitetura bioclimática, clima, ambiente e necessidades do usuário são considerados elementos fundamentais para a concepção de espaços habitáveis. A

harmonização desses fatores visa garantir o conforto e a eficiência das edificações. Para tanto, este processo está demonstrado na Figura 8:

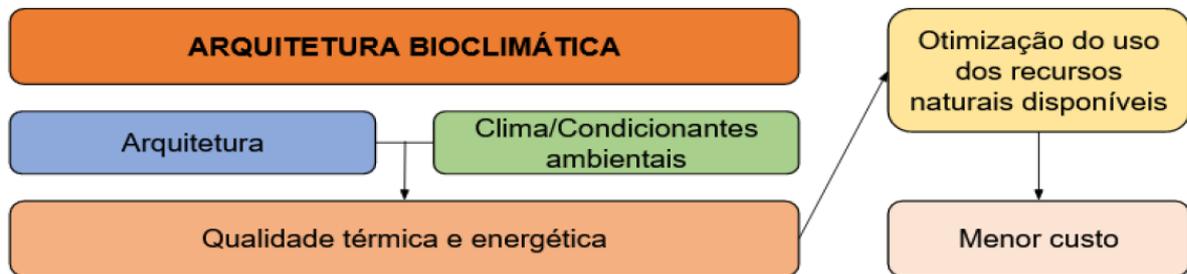


Figura 8 – Síntese da arquitetura bioclimática.

Fonte: Brum (2024)

2.10 ESTUDOS SOBRE O TEMA

Andrade (2022) estabeleceu alguns critérios para analisar as propriedades dos blocos cerâmicos, blocos de concreto e blocos de concreto celular autoclavado, com base em estudos laboratoriais já realizados por outros autores. O autor realizou uma análise comparativa com os seguintes critérios: estanqueidade, condutividade térmica, custo, resistência à compressão, isolamento acústico e peso. De acordo com as tabelas e os gráficos dos resultados realizados por Andrade (2022), é possível analisar a vantagem do bloco cerâmico quando comparado ao bloco de concreto no critério de desempenho em relação à estanqueidade, à condutividade térmica e ao isolamento acústico. Com os dados obtidos nos ensaios realizados por Hattge (2004), é possível obter os resultados das Tabelas 7 e 8.

Quanto à resistência à compressão dos blocos analisados, foram observadas várias diferenças entre os autores. Alguns testes beneficiaram os blocos cerâmicos, enquanto outros favoreceram os blocos de concreto. Esta variação pode estar relacionada ao processo de fabricação, já que tanto os blocos cerâmicos quanto os de concreto exigem temperaturas e períodos de cura específicos. A proporção de água/cimento durante a produção é um aspecto que também impacta a avaliação da resistência à compressão e pode resultar em mudanças diretas nessa resistência (ANDRADE, 2022).

Tabela 7: Estanqueidade dos blocos

ESTANQUEIDADE			
BLOCOS	Absorção média	Absorção inicial	Absorção total
Cerâmicos	13,91%	68,25%	13,91
Concreto//	4,86%	46,07%	4,86

Fonte: Adaptado de Hattge (2004).

Tabela 8: Condutividade térmica

CONDUTIVIDADE TÉRMICA			
Critérios	Concreto	Cerâmico	BCCA
Resistência térmica	0,368	0,396	0,227
Transmitância térmica	2,718	2,526	4,403
Capacidade térmica	94,711	127,51	240
Resistência térmica total	Cerâmico > concreto 7,6% > BCCA 42,67%		
Transmitância térmica total	Cerâmico > Concreto 7,6% > BCCA 74,3%		
Capacidade térmica total	BCCA > Cerâmico 46,87% > Concreto 60,53%		

Fonte: Adaptado de Fiegenbaum (2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa analisou comparativamente as propriedades físicas e térmicas de dois materiais de vedação comuns em construções rurais para suinocultura: o bloco de concreto celular autoclavado e o bloco cerâmico. Buscou-se, por meio de ensaios laboratoriais com amostras parametrizadas e descritas ao longo do estudo, caracterizar fisicamente cada material. A análise comparativa possibilitou a verificação da influência das propriedades físicas de cada material quanto ao desempenho térmico, e ofereceu suporte à escolha do material mais adequado para o conforto térmico das instalações suinícolas.

3.1 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

O experimento foi desenvolvido no laboratório de materiais de construção do centro universitário Univel e no LEME (Laboratório de Estruturas e Materiais de Engenharia) da Universidade Estadual do Paraná – Unioeste, ambos localizados na cidade de Cascavel-PR.

3.2 MATERIAIS

Este estudo empregou os seguintes materiais para a análise comparativa proposta:

1. Blocos de Concreto Celular Autoclavado:

- Fabricante: Celucon – Módulos de Concreto Celular.
- Espessuras: 9 cm.
- Fábrica: CELUCON

Justificativa da escolha de Espessuras: A análise da espessura escolhida permitiu determinar a influência direta deste parâmetro na resistência térmica do material, com relação aos blocos cerâmicos, que são da mesma espessura.

2. Blocos Cerâmicos:

- Dimensões: 9 x 14 x 24 cm.
- Fabricante: desconhecido.

3. Equipamentos e Materiais Auxiliares:

- Recipiente para água: recipiente plástico retangular com capacidade de 5 litros para realização dos ensaios de absorção de água.
- Lâmpada infravermelha: 110 V, 150 W. Para a simulação de radiação solar em

ensaios de transmitância térmica.

- Fita isolante: para fixação dos termopares no ensaio de condutividade da câmara.
- Lápis: para marcação das amostras.

3.2.1 Equipamentos

Equipamentos necessários para o ensaio:

- 1) Estufa para aquecimento das amostras;
- 2) Câmara de saturação;
- 3) Conjunto para ebulição da água;
- 4) Balança de precisão, com três casas de precisão;
- 5) Prensa modelo EMIC MEU100;
- 6) Câmara de aquecimento:
 - a) Feita com chapas de compensado plastificado de 12 mm;
 - b) Revestida com mantas de vidro;
 - c) Dimensões: 110 cm x 63 cm x 30 cm;
 - d) Com quatro fechos de engate rápido;
- 7) Termopares tipo "K";
- 8) Furadeira com broca N6;
- 9) Placa Arduino para transmissão dos dados para o computador.

3.3 CARACTERIZAÇÕES FÍSICAS DOS BLOCOS

A caracterização das propriedades físicas dos blocos de concreto celular autoclavado (BCCA), dos blocos cerâmicos e dos blocos de concreto convencional seguiu as normas NBR 13440 (2021), NBR 15270-2 (2023) e NBR 12118 (2013), respectivamente. As amostras de BCCA utilizadas nos ensaios apresentaram dimensões de 75 mm x 75 mm x 75 mm, enquanto os blocos inteiros foram empregados para os blocos cerâmicos. Os ensaios realizados foram:

3.3.1 Densidade aparente seca (ρ_s)

Foi realizada a secagem com seis amostras retiradas de seis blocos de concreto celular autoclavado, os quais possuíam dimensões de 60 cm x 30 cm x 10 cm. Os blocos foram

saturados durante sete dias em câmara para a cura de água e, posteriormente, foram cortados com a serra tipo fita, para a obtenção de amostras conforme a Figura 9.



Figura 9 – Amostras com identificação na estufa

Fonte: O autor (2024).

As amostras foram submetidas a um processo de secagem em estufa a uma temperatura de 105 ± 5 °C, até que, em intervalos de 24 horas, a variação entre as massas fosse inferior a 1 grama, conforme estipulado na norma. Após a secagem, as amostras foram medidas e esses valores registrados para cálculo do volume das amostras. De acordo com a NBR 13438 (2021), a densidade aparente seca da amostra foi obtida de acordo com seguinte fórmula:

$$\rho_s = \frac{m_s}{v} \quad (16)$$

Na qual: ρ_s = Densidade da massa aparente seca de acordo com cada corpo de prova (kg/m³);

m_s = Massa do corpo de prova seco (kg);

v = Volume do corpo de prova (m³);

Considerando-se o método utilizado para determinar a densidade aparente seca do bloco de concreto celular autoclavado, este mesmo foi empregado em seis blocos cerâmicos vazados a fim de se obter a densidade da massa aparente seca. Os blocos cerâmicos seguiram padrões específicos, e apresentaram seis furos e dimensões de 9 cm x 14 cm x 24 cm. No entanto, as dimensões reais de cada bloco foram medidas para o cálculo da densidade. Os dados coletados foram aplicados na Equação 16 para cálculo da densidade.

3.3.2 Massa específica saturada (ρ_{sat})

O ensaio para determinar a massa específica saturada foi conduzido nas amostras de ambos os blocos. Para calcular a densidade, foi utilizada a metodologia da NBR 9778 (2005) – Argamassa e concreto endurecido – que aborda a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Esse procedimento foi adaptado para as amostras de BCCA.

Inicialmente, as amostras foram mantidas submersas em câmara de saturação com água por um período de 72 horas. Em seguida, as amostras foram conduzidas para um recipiente com água e levadas à ebulição por cerca de 30 minutos (Figura 10a). Os corpos de prova permaneceram no recipiente por cinco horas, com a água em ebulição. A água foi repostada ao longo deste tempo para garantir que o volume de água se mantivesse constante, assim, as amostras ficaram sempre submersas. Após esse tempo, aguardou-se que a água resfriasse até atingir a temperatura de 23 °C. A Figura 10 ilustra o processo de saturação.



Figura 10 – a) Aparato de aquecimento para realização do ensaio;
b) Blocos durante realização do procedimento do ensaio.

Fonte: O autor (2024).

As amostras foram retiradas da água, secas com tecido para retirar o excesso de água e levadas para balança hidrostática para aferição da massa de cada uma delas. A equação abaixo foi utilizada para a obtenção do cálculo.

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (17)$$

Na qual: “ ρ_{sat} ” = Massa específica posterior ao processo de fervura (g/cm^3);

“ m_{sat} ” = Massa após a saturação em água no processo de ebulição (g);

“ m_i ” = Massa do objeto quando imerso no líquido antes da fervura (g);

O ensaio foi realizado com blocos cerâmicos e BCCA utilizando-se as amostras mencionadas anteriormente (Figura 10). Em seguida, amostras foram secas e pesadas em balança hidrostática. Então, foi possível aplicar a Equação 17 para o processo de saturação do BCCA.

Conforme a NBR 12118 (2013), os corpos de prova, após resfriamento natural, foram imersos em água a 23 ± 5 °C por 24 horas. Posteriormente, cada corpo de prova, na condição saturada e com a superfície seca (após drenagem por 60 segundos em tela com abertura de malha $\geq 9,5$ mm), teve a massa saturada, determinada e registrada, após a remoção do excesso de água superficial com pano.

3.3.3 Massa específica Real (ρ_r)

O procedimento foi ajustado conforme a NBR 9778 (2005), que descreve como realizar o cálculo da massa específica real para os blocos. Abaixo, está a equação indicada na norma.

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (18)$$

Na qual: “ ρ_r ” = Massa específica real da amostra (g/cm^3);

“ m_s ” = Massa do objeto quando saturado com líquido (g);

“ m_i ” = Massa do objeto quando imerso no líquido (g).

3.3.4 Absorção (A)

A determinação da absorção do material foi adaptada conforme o procedimento descrito na NBR 9778 (2005), conforme a equação 19.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (19)$$

Na qual: “A” = Absorção do material (%) e

“ m_s ” = Massa do objeto quando saturado com líquido (g).

3.3.5 Índice de vazios (I_v)

A determinação do índice de vazios foi adaptada conforme descrito na NBR 9778 /2005, conforme a equação 20.

$$I = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (20)$$

Na qual: “ I ” = Índice de vazios (%);

“ m_{sat} ” = Massa após a saturação em água no processo de ebulição (g);

“ m_s ” = Massa do objeto quando saturado com líquido (g);

“ m_i ” = Massa do objeto quando imerso no líquido (g).

3.3.6 Resistência à compressão axial (f_{cb})

A norma NBR 13440 (2021) foi empregada para determinar a resistência à compressão axial do BCCA, e as amostras foram rompidas na direção da maior dimensão do bloco. O teste foi realizado na prensa modelo EMIC MEU100, com velocidade de 0,5 MPa/s, conforme as diretrizes da norma. Assim, a equação 21 foi utilizada para calcular o valor da resistência à compressão axial.

$$f_{cb} = \frac{F}{S} \quad (21)$$

Na qual: “ f_{cb} ” = Resistência à compressão axial do BCCA (Mpa);

“ F ” = Força máxima que o corpo de prova resiste (N);

“ S ” = Área de aplicação de força no corpo de prova (cp) (mm²).

A NBR 15270-2 (2023) – Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 2: Método de ensaio, e a NBR 12118 (2013) – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - foram utilizadas para determinar a resistência à compressão axial dos blocos cerâmicos. A equação utilizada para calcular a resistência à compressão foi a mesma aplicada

ao BCCA (equação 21). Porém, foi necessário realizar nivelamento na face de ruptura dos blocos cerâmicos, conforme ilustrado na Figura 11.

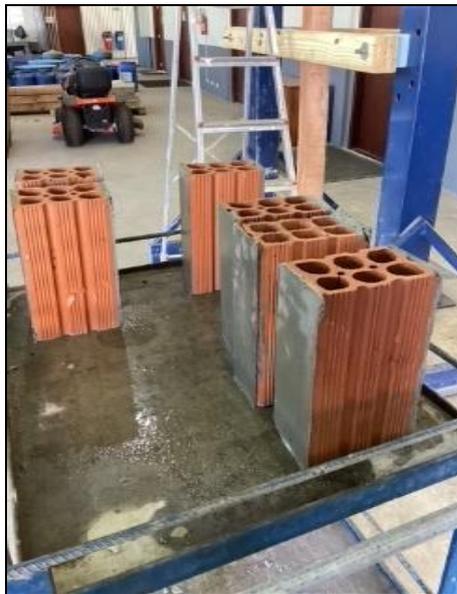


Figura 11 – Bloco cerâmico com regularização da face
Fonte: O autor (2024).

A argamassa de recapagem, composta por cimento e areia no traço 1:8 (que proporciona baixa resistência), foi aplicada nos blocos. Os ensaios de rompimento foram realizados dois dias após a recapagem para minimizar a influência do aumento da resistência à compressão da argamassa nos resultados.

Os blocos foram posicionados deitados na prensa (com a aplicação da carga perpendicularmente aos furos), como está demonstrado na Figura 12, bem como foi aplicada a carga de compressão até seu rompimento.



Figura 12 – Bloco cerâmico posicionado na prensa para rompimento
Fonte: O autor (2024).

3.3.7 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi determinada conforme a NBR 9779 (2012) – Argamassa e concreto endurecidos. As massas das amostras foram medidas em intervalos de 3h, 6h, 24h, 48h e 72 horas, a partir do início da imersão na lâmina d'água.

O método normatizado também foi adaptado para que medições adicionais fossem realizadas antes das três horas iniciais e assim houvesse melhor análise da absorção inicial. As leituras foram feitas nos seguintes intervalos: 0,5h, 1h, 2h, 3h, 6h, 24h, 48h e 72 horas. Os corpos de prova, com dimensões idênticas às utilizadas nos ensaios anteriores, foram empregados neste procedimento. O cálculo da absorção foi realizado de acordo com a equação abaixo:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (22)$$

Na qual, “C” = Absorção de água por capilaridade (g/cm²);

“m_{sat}” = Massa após a saturação em água no processo de ebulição (g);

“m_s” = Massa do objeto quando saturado com líquido (g);

“S” = Área do corpo de prova em contato com água (cm²);

3.3.8 Parâmetros térmicos dos blocos

Os cálculos dos parâmetros térmicos estão descritos a seguir e, para o BCCA, foram utilizados os parâmetros fornecidos pelo catálogo técnico da empresa para os blocos

ensaiados. E, para os blocos cerâmicos, foram utilizados os dados obtidos no trabalho de Silva (2023), que realizou a análise térmica de diversos blocos, dentre eles o bloco cerâmico de 9 cm de espessura.

- Resistência térmica total (RT);
- Transmitância Térmica (U);
- Capacidade térmica (CT) e
- Atraso térmico (φ).

a) Variação de temperatura nas faces dos blocos

A variação térmica foi investigada utilizando-se o método da câmara de aquecimento, com base nos estudos de Silva, Cahino e Melo (2012) e Junior *et al.* (2022), apesar de haver diferença entre os materiais empregados. A câmara de aquecimento foi construída com chapas de compensado plastificado de 12 mm, revestidas internamente com manta de vidro para retenção de calor. As dimensões foram de 110 cm x 63 cm x 30 cm (Figura 13). A tampa, também de compensado, foi equipada com quatro fechos de engate rápido para garantir a vedação e minimizar a perda de calor. Uma lâmpada infravermelha de 110V e 150W, posicionada no centro de uma das faces laterais internas (na largura) da câmara, serviu como fonte de calor. O bloco foi posicionado a três cm da lâmpada, conforme previsto no projeto.

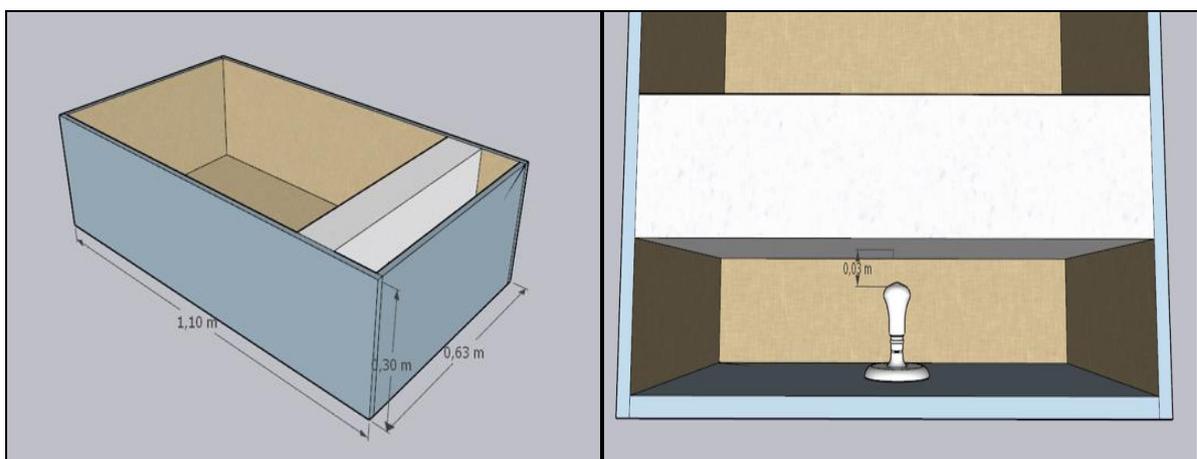


Figura 13 – Projeto câmara de aquecimento
Fonte: O autor (2024).

Para a coleta de dados de temperatura em ambas as faces do bloco de concreto celular autoclavado (30 cm x 60 cm x 10 cm), posicionado paralelamente à face da lâmpada infravermelha, foram seguidos os seguintes procedimentos:

- Termopares tipo "K" com bainha foram fixados na superfície do bloco com fita

isolante para medida da temperatura superficial (no centro da face de ambos os blocos ensaiados);

- Os termopares foram conectados a uma placa Arduino, responsável pela conversão e transmissão dos dados de temperatura para um computador.

O aparato descrito permitiu o monitoramento da variação de temperatura tanto na face quente (exposta à lâmpada) quanto na face fria do bloco durante o ensaio na câmara de aquecimento. Assim, foi possível uma análise detalhada do comportamento térmico do material.



Figura 14 – Amostra de BCCA em processo de fixação dos termopares.

Fonte: O autor (2024).

Para análise da variação de temperatura nas faces dos blocos cerâmicos, utilizou-se o mesmo método de câmara de aquecimento descrito anteriormente, empregando-se a câmara com as dimensões apresentadas na Figura 13. A fonte de calor, uma lâmpada infravermelha de 110 V e 150 W, foi posicionada no centro de uma face lateral interna da câmara, para que fosse mantida uma distância de três cm entre a lâmpada e a parede de blocos cerâmicos.

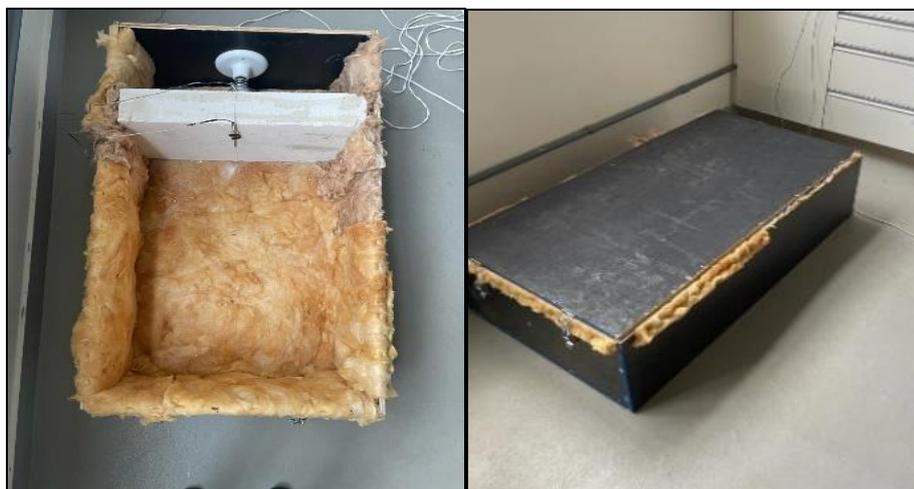


Figura 15 – Câmara de aquecimento.

Fonte: O autor (2024).

Construiu-se uma parede com blocos cerâmicos de 9 cm x 19 cm x 19 cm, unidos por uma camada de argamassa de aproximadamente três mm, até atingir 60 cm de altura. Esta configuração permitiu a comparação posterior entre o BCCA e os blocos cerâmicos (Figura 15). A parede foi posicionada paralelamente à face da câmara onde a lâmpada foi instalada.

A coleta de dados de temperatura em ambas as faces dos blocos cerâmicos foi realizada com termopares tipo "K" com bainha, fixados com fita isolante no centro da parede, a uma altura de 15 cm. Os termopares foram conectados a uma placa Arduino para conversão e transmissão dos dados a um computador.

Os dados de temperatura, medidos a cada segundo por cada termopar, foram coletados em um computador. Os ensaios de aquecimento tiveram duração de 24 horas (86.400 segundos). Em seguida, a lâmpada infravermelha foi desligada e os dados de resfriamento foram registrados pelo dispositivo Arduino, que permaneceu conectado por mais 24 horas.

Para o ensaio com os BCCAs, um bloco de 9 cm x 30 cm x 60 cm foi submetido ao teste de transferência de calor, incluindo as fases de aquecimento e resfriamento. O mesmo procedimento foi repetido para a parede construída com blocos cerâmicos (Figura 16).



Figura 16– Parede de bloco cerâmico
Fonte: O autor (2024).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS MATERIAIS

É possível inferir algumas considerações relevantes com base nos resultados obtidos na Tabela 1, referentes às características físicas e resistência à compressão axial do BCCA. A massa seca aparente média de 249,13 g, com um desvio padrão de 13,29 g e um coeficiente de variação de 5,33%, indica uma relativa uniformidade na densidade dos blocos amostrados. Tal consistência é essencial para garantir um desempenho previsível e confiável nas propriedades de isolamento térmico e acústico, visto que a densidade influencia diretamente na quantidade de ar aprisionado na estrutura celular do material. Em adição, a resistência média à compressão axial de 1,59 MPa, com desvio padrão de 0,17 MPa e um coeficiente de variação de 10,7%, demonstra que o BCCA possui uma capacidade razoável para suportar cargas axiais. Os resultados confirmam que o concreto celular apresenta boa resistência mecânica e seu baixo peso em relação a outros blocos usados como vedação (FABIEN, 2022).

Tabela 9 - Características físicas e resistências à compressão do BCCA

Núm. CP	Características Físicas					Resistência à compressão				
	Lado A (cm)	Lado B (cm)	Lado C (cm)	Volume (cm ³)	Massa seca (g)	Área de aplicação (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão resistente (Kgf/cm ²)	Tensão resistente (Mpa)	
1	7,685	7,488	7,443	428,310	241,63	57,545	783	13,607	1,335	
2	7,122	7,506	7,681	410,609	232,21	53,458	838	15,676	1,538	
3	7,193	7,485	7,701	414,619	227,79	53,840	920	17,088	1,676	
4	7,145	7,546	7,709	415,640	229,86	53,916	1050	19,475	1,910	
5	7,375	7,755	7,86	449,538	251,02	57,193	1008	17,624	1,729	
6	7,39	7,796	7,921	456,348	249,78	57,612	723	12,549	1,231	
7	7,165	7,785	7,712	430,172	243,47	55,780	1019	18,268	1,792	
8	7,554	7,563	7,585	433,338	238,52	57,131	839	14,686	1,441	
9	7,6	7,56	7,55	433,793	251,7	57,456	899	15,647	1,535	
10	7,585	7,6	7,66	441,568	260,4	57,646	942	16,341	1,603	
11	7,73	7,97	7,6	468,222	276,7	61,608	978	15,875	1,557	
12	7,8	7,75	7,66	463,047	274,8	60,450	863	14,276	1,401	
13	7,67	7,55	7,57	438,367	255,6	57,909	1015	17,528	1,719	
14	7,6	7,62	7,55	437,236	244	57,912	895	15,454	1,516	
15	7,54	7,68	7,64	442,411	251,1	57,907	987	17,045	1,672	
16	7,7	7,65	7,64	450,034	250	58,905	921	15,635	1,534	
17	7,635	7,6	7,66	444,479	256,7	58,026	1043	17,975	1,763	
				Média	438,690	249,13	57,311	925	16,162	1,585
				Desvio padrão	15,744	13,286	2,080	91,301	1,733	0,170
				Coef. de dispersão	3,59%	5,33%	3,63%	9,87%	10,72%	10,72%

Fonte: O autor (2024)

A análise dos resultados da Tabela 10, que apresenta as características físicas e a resistência à compressão dos blocos cerâmicos, mostra uma massa média consideravelmente superior à do BCCA, que atingiu 2223,29 g com desvio padrão de 33,91 g e coeficiente de variação de 1,53%. Esta diferença substancial na massa reflete a composição e o processo de fabricação, distintos entre os dois materiais, onde a maior densidade do cerâmico geralmente se traduz em maior inércia térmica e potencial para armazenamento de calor. Entretanto, a resistência média à compressão dos blocos cerâmicos, de 1,214 MPa com desvio padrão de 0,629 MPa e coeficiente de variação de 51,79%, demonstra variabilidade maior em relação ao BCCA, com uma resistência média inferior. Esta característica pode ser atribuída às variações na qualidade da matéria-prima (argila), ao processo de queima e à geometria dos blocos.

Tabela 10 - Características físicas e resistências à compressão do Bloco cerâmico (tijolo)

Núm. CP	Características Físicas					Resistência à compressão				
	Lado A (cm)	Lado B (cm)	Lado C (cm)	Volume (cm ³)	Massa seca (g)	Área de aplicação (cm ²)	Carga (kgf)	Tensão resistente (Kgf/cm ²)	Tensão resistente (Mpa)	
1	8,866	23,049	12,752	2605,902	2219,6	204,352	3874	18,957	1,860	
2	9,114	23,57	13,374	2872,962	2189,7	214,817	1759	8,188	0,803	
3	9,079	23,823	13,394	2896,975	2265,3	216,289	2608	12,058	1,183	
4	8,955	23,806	13,216	2817,423	2204,3	213,183	2408	11,295	1,108	
5	8,972	23,777	13,458	2870,958	2238,9	213,327	1047	4,908	0,481	
6	9,179	23,789	13,775	3007,898	2249,7	218,359	7286	33,367	3,273	
7	9,075	23,899	13,317	2888,237	2231,6	216,883	1308	6,031	0,592	
8	9,055	23,743	13,111	2818,771	2258,4	214,993	2453	11,410	1,119	
9	9,15	23,975	13,66	2996,611	2236	219,371	2687	12,249	1,202	
10	9,145	24	13,67	3000,292	2235	219,480	2045	9,317	0,914	
11	9,145	24	13,43	2947,616	2117,1	219,480	3172	14,452	1,418	
12	9,17	23,995	13,58	2988,064	2208,5	220,034	2876	13,071	1,282	
13	9,26	23,98	13,6	3019,945	2222,7	222,055	1963	8,840	0,867	
14	9,07	23,88	13,75	2978,135	2251,4	216,592	3325	15,351	1,506	
15	9,17	23,7	13,5	2933,942	2234,5	217,329	1768	8,135	0,798	
16	9,1	23,84	13,65	2961,286	2209,9	216,944	2249	10,367	1,017	
				Média	2912,814	2223,29	216,468	2677	12,375	1,214
				Desvio padrão	101,693	33,911	3,934	1387,446	6,409	0,629
				Coef. de dispersão	3,49%	1,53%	1,82%	51,83%	51,79%	51,79%

Fonte: O autor (2024)

A análise comparativa entre massas e tensões resistentes à compressão não permite uma avaliação direta, devido às diferentes dimensões das amostras e às normas distintas utilizadas em cada ensaio. No entanto, ao comparar as Tabelas 11 e 12, referentes às densidades, à absorção e ao índice de vazios do BCCA e dos blocos cerâmicos, emerge um

panorama contrastante que elucidada as distintas propriedades destes materiais. A densidade aparente seca média do BCCA ($0,58 \text{ g/cm}^3$) se mostra significativamente inferior à dos blocos cerâmicos ($1,79 \text{ g/cm}^3$), em consonância com as estruturas celular e porosa do BCCA, que promove leveza e potencial para isolamento térmico. Por outro lado, a absorção de água do BCCA (126,78%) é notavelmente superior à dos cerâmicos (17,42%), o que se correlaciona com o elevado índice de vazios do BCCA (75,37%) em comparação com os cerâmicos (31,21%). A alta capacidade de absorção do BCCA implica maior sensibilidade à umidade e, conseqüentemente, a necessidade de tratamentos de impermeabilização em determinadas aplicações. A estrutura mais densa e menos porosa dos blocos cerâmicos confere menor absorção de água, que resulta em maior durabilidade em ambientes úmidos, porém, com menor potencial de isolamento térmico em comparação com o BCCA. Estes resultados são consistentes com a literatura, e reforçam o ótimo desempenho do BCCA, em relação à resistência à compressão, quando comparado aos materiais convencionais (ATAÍDE, 2019).

Tabela 11 - Densidades, absorção e Índice de vazios do BCAA

Núm. CP	Massa seco (g)	M sat (g)	M i (submerso) (g)	Densidade aparente seca (g/cm^3)	Densidade saturada (g/cm^3)	Densidade real (g/cm^3)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)
9	251,7	572,6	147,3	0,58	1,346	2,41	127,5	75,45
10	260,4	590,7	152,7	0,59	1,349	2,42	126,8	75,41
11	276,7	614,3	164,1	0,59	1,365	2,46	122,0	74,99
12	274,8	612	163,1	0,59	1,363	2,46	122,7	75,12
13	255,6	576,2	147,7	0,58	1,345	2,37	125,4	74,82
14	244	559,2	140,9	0,56	1,337	2,37	129,2	75,35
15	251,1	577,4	147	0,57	1,342	2,41	129,9	75,81
16	250	576,5	146,9	0,56	1,342	2,42	130,6	76,00
			Média	0,58	1,35	2,41	126,78	75,37
			Desvio padrão	0,014	0,010	0,032	3,001	0,374
			Coef.de Dispersão	2,44%	0,70%	1,34%	2,37%	0,50%

Fonte: O autor (2024)

Tabela 12 - Densidades, absorção e Índice de vazios do Bloco cerâmico (tijolo)

Núm. CP	Massa seco (g)	M sat (g)	M i (submerso) (g)	Densidade aparente seca (g/cm ³)	Densidade saturada (g/cm ³)	Densidade real (g/cm ³)	Absorção (%)	Índice de vazios (%)
9	2236	2609	1369,7	1,80	2,105	2,58	16,7	30,10
10	2235	2635,9	1379	1,78	2,097	2,61	17,9	31,90
11	2117,1	2516,1	1323,8	1,78	2,110	2,67	18,8	33,46
12	2208,5	2607,2	1366,6	1,78	2,102	2,62	18,1	32,14
13	2222,7	2606,7	1365,2	1,79	2,100	2,59	17,3	30,93
14	2251,4	2647,4	1389,9	1,79	2,105	2,61	17,6	31,49
15	2234,5	2582,6	1359,2	1,83	2,111	2,55	15,6	28,45
16	2209,9	2601,5	1365,9	1,79	2,105	2,62	17,7	31,69
Média				1,79	2,10	2,61	17,42	31,21
Desvio padrão				0,017	0,005	0,034	0,978	1,484
Coef.de Dispersão				0,93%	0,23%	1,29%	5,61%	4,75%

Fonte: O autor (2024)

As Tabelas 11 e 12 também mostram que, em relação à absorção, conforme o ensaio da NBR 9778, os blocos de concreto celular exibiram uma absorção média elevada, e atingiram 126,78% (desvio padrão de 3,001% e coeficiente de variação de 2,37%). Em comparação, os blocos cerâmicos apresentaram absorção média significativamente menor, de 17,42% (desvio padrão de 0,978% e coeficiente de variação de 5,61%). Esta diferença pode ser explicada pelo índice de vazios, que para os blocos de concreto é, em média, de 75,37% (desvio padrão de 0,374% e coeficiente de variação de 0,50%). Enquanto os blocos cerâmicos apresentaram valor médio de 31,21% (desvio padrão de 1,484% e coeficiente de variação de 4,75%). Isto indica que os BCCA possuem mais vazios internos, que resultam em maior espaço para a fixação da água.

O ensaio de absorção por capilaridade é essencial na avaliação de materiais destinados à construção civil, especialmente para aqueles utilizados como elementos de vedação. Este ensaio é amplamente reconhecido como um indicador confiável da absorção superficial dos materiais e pode ser particularmente útil em situações em que não é viável a realização de ensaios de estanqueidade em paredes construídas. Nas Figuras 17 e 18, estão apresentados os resultados do ensaio para os blocos de concreto celular autoclavado (BCCA) e blocos cerâmicos. Observa-se que os BCCA apresentaram absorção por capilaridade significativamente superior em comparação aos blocos cerâmicos. Enquanto os blocos cerâmicos registraram absorção média de 1,03 g/cm² após 72 horas de exposição à lâmina de água, os BCCA registraram um valor de 2,66 g/cm², ou seja, um aumento de quase 260%.

Esta diferença pode ser atribuída à estrutura interna dos materiais, como discutido anteriormente. Os BCCA apresentam elevado índice de vazios, o que facilita a propagação da água por capilaridade. Esta característica, embora vantajosa em aplicações específicas, como a promoção de aderência em revestimentos ou argamassas, pode representar desvantagem em contextos em que o material fica exposto à umidade constante ou às intempéries. Nestas situações, a elevada absorção por capilaridade pode levar a problemas como infiltrações, danos estruturais, crescimento de mofo e eflorescências salinas.

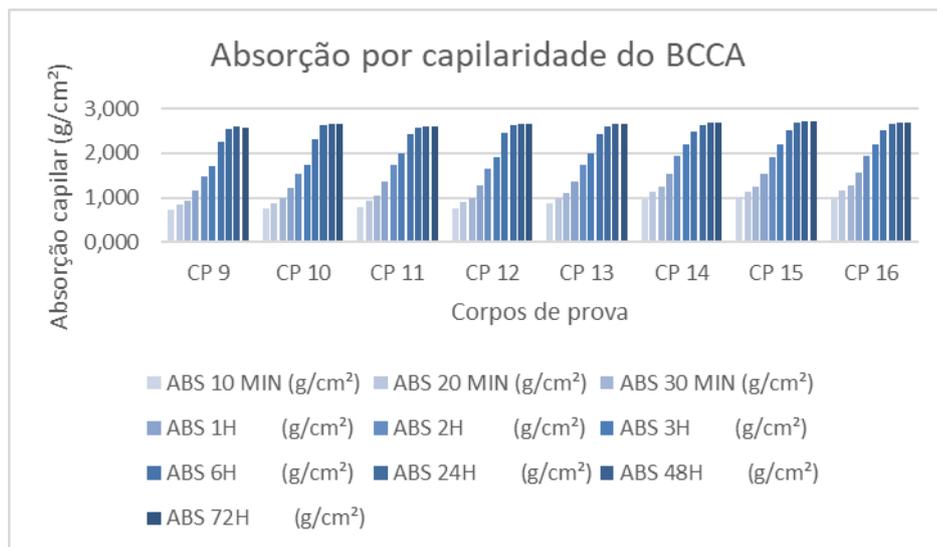


Figura 17 – Gráfico de representação da absorção dos BCCA quanto à absorção por capilaridade

Fonte: O autor (2024)

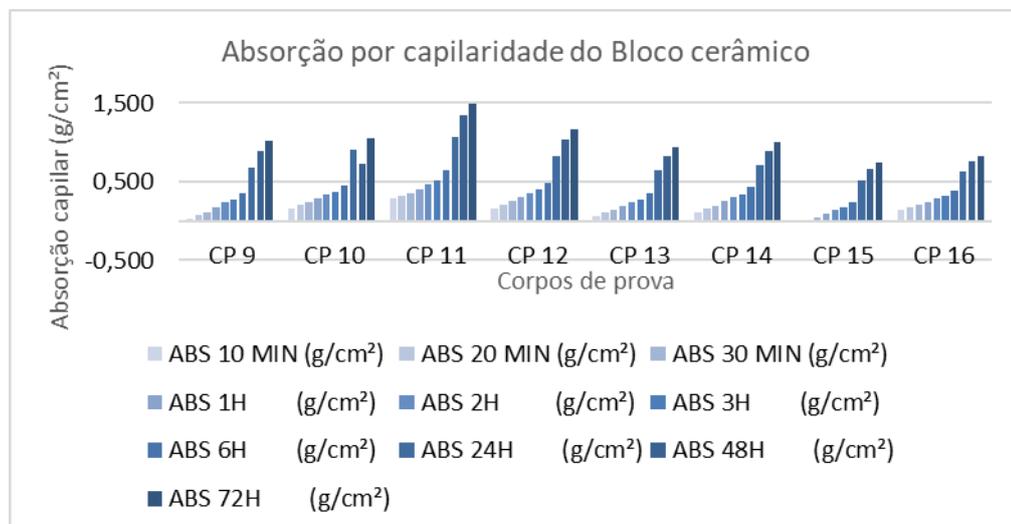


Figura 18 - Gráfico de representação da absorção dos blocos cerâmicos quanto à absorção por capilaridade

Fonte: O autor (2024)

Os blocos de concreto celular autoclavado podem ser utilizados com eficiência em aplicações internas ou em construções externas, desde que sejam acompanhados de tratamentos adequados a fim de que se evitem as situações recém-citadas. A análise aqui apresentada ressalta a importância do conhecimento detalhado das propriedades dos materiais para uma escolha adequada ao contexto de aplicação desejada.

4.2 ENSAIOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

O método apresentado pela NBR 15220 foi utilizado para a obtenção das propriedades térmicas dos BCCA ensaiados. Dados necessários para os cálculos térmicos e análise deste estudo foram obtidos a partir de um relatório técnico disponibilizado pela fabricante dos blocos, CELUCON, em parceria com o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da UFSC). Entre os parâmetros fornecidos, destacam-se o calor específico do material (c) sendo 1,00 J/kg·K e a condutividade térmica (λ) de 0,152 W/m·K, os quais são fundamentais para a análise das propriedades térmicas posteriores dos blocos de concreto celular autoclavado. A densidade aparente utilizada foi a encontrada nos ensaios anteriores, com o valor de 580 Kg/ m³.

Conforme apresentado na Tabela 13, o atraso térmico encontrado para o bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) foi de cinco horas. Este valor representa, de certa forma, o tempo necessário para que a diferença térmica permeie o material de uma superfície para outra, alinhando-se aos valores encontrados na literatura, como em Ataíde (2019). Para materiais como o BCCA, amplamente utilizados em paredes de vedação, o atraso térmico é uma característica relevante, pois contribui para prolongar a manutenção de temperaturas internas mais baixas em ambientes resfriados, mesmo em condições de incidência de calor na face externa.

Tabela 13 Parâmetros térmicas dos BCCA e Blocos cerâmicos segundo NBR 15220

	Condutividade térmica (W/m.K)	Resistência térmica (m².K/W)	Transmitância térmica (W/m².K)	Capacidade térmica (kJ/ m².K)	Atraso térmico (h)
BCCA	0,152	0,8164	1,225	58	5
Bloco Cerâmico	0,405	0,392	2,55	151	3

Fonte: NBR 15220 (2022)

Na Tabela 14, é possível encontrar diferenças de temperaturas medidas ao longo de vinte e quatro horas na face quente (LQ), onde a lâmpada de infravermelho estava localizada, e no lado frio (LF), a face contrária onde se encontrava a lâmpada. Nela foram compilados os dados do ensaio de transferência de calor na câmara, resumidamente em 0, 5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 24 horas. Verifica-se que a diferença inicial de temperatura entre as superfícies do material é considerável, com $38,3^{\circ}\text{C}$. Isto indica uma resposta inicial distinta entre as faces do material. Ainda, a Tabela 14 revela o comportamento térmico peculiar do BCCA durante o ensaio de aquecimento. A diferença de temperatura entre a face quente (LQ) e a face fria (LF) demonstra a capacidade do material em resistir à passagem de calor. Observa-se que, mesmo após três horas de aquecimento contínuo, a temperatura na face fria ($49,9^{\circ}\text{C}$) permanece significativamente inferior à da face quente ($205,7^{\circ}\text{C}$), cujo resultado foi a diferença de $155,8^{\circ}\text{C}$. Este gradiente térmico expressivo sugere que o BCCA apresenta uma considerável resistência térmica, além de retardar a transferência de calor através de sua estrutura. A estabilização das temperaturas após as primeiras horas indica um equilíbrio térmico gradual, quando a taxa de calor que entra no material é aproximadamente igual à taxa de calor que é dissipada para o ambiente, evidenciando a eficácia do BCCA como isolante térmico.

Quando o aquecimento rápido inicial da face LQ atinge $141,1^{\circ}\text{C}$ em 30 minutos (aproximadamente 68% da temperatura final), indica a elevada capacidade da superfície em absorver a radiação infravermelha. Este fenômeno ocorre devido à natureza da superfície do BCCA e à sua capacidade em converter energia radiante em energia térmica. A partir deste ponto, o aquecimento da face LQ desacelera, e evidencia que a estrutura do BCCA começa a oferecer resistência à condução do calor para o interior do material. A temperatura da face LF, por outro lado, apresenta aumento lento e constante, pois atinge apenas $49,9^{\circ}\text{C}$ após três horas. Assim, demonstra-se a eficácia do BCCA em retardar a transferência de calor da face quente (LQ) para a face fria (LF). A diferença de temperatura de $155,8^{\circ}\text{C}$ entre as faces após três horas evidencia a capacidade do BCCA em atuar como barreira térmica e assim proteger o ambiente do lado da face LF do calor irradiado pela lâmpada. A tendência à estabilização das temperaturas após 12 horas, com pouca variação entre a 10^a e a 12^a hora, indica que o BCCA atinge um estado de regime permanente, no qual a taxa de calor absorvida pela face LQ e conduzida através do material se iguala à taxa de calor dissipada pela face LF para o ambiente. Dado que representa o limite da capacidade de isolamento térmico do material sob as condições do ensaio.

Tabela 14 - Variação de temperatura nas faces do BCCA

Tempo (h)	LQ (°C)	LF (°C)	Diferença de temperatura (°C)
0	72,8	34,5	38,3
0,5	141,1	37,0	104,1
1,0	163,7	39,8	123,9
1,5	183,4	40,6	142,8
2,0	192,5	41,9	150,6
2,5	199,6	45,2	154,4
3,0	205,7	49,9	155,8
4,0	210,9	48,5	162,4
5,0	211,3	48,9	162,4
6,0	215,3	50,5	164,8
7,0	219,0	50,6	168,4
8,0	207,6	50,6	157,0
9,0	209,0	50,7	158,3
10,0	210,0	50,8	159,2
12	208,2	51,2	157,0
14	209,1	51,5	157,6
16	211,3	53,1	158,2
18	213,2	55,2	158,0
20	206,1	56,3	149,8
22	210,9	57,0	153,9
24	207,8	56,8	151,0

Fonte: O autor (2024)

A análise da Tabela 15, referente à variação de temperatura nas faces dos blocos cerâmicos, revela comportamento térmico distinto em comparação com o BCCA. A elevação da temperatura na face quente (LQ) é notavelmente mais acentuada nos primeiros 30 minutos, quando atinge 159,6 °C. Tal resposta representa aproximadamente 65% da temperatura final alcançada após três horas. A rápida elevação indica uma maior facilidade dos blocos cerâmicos em absorver a radiação infravermelha e conduzir o calor para o interior do material. A face fria (LF) também apresenta um aquecimento mais rápido em relação ao BCCA, ao atingir 52,5 °C em 30 minutos, o que representa aumento de 17,8°C em relação à temperatura inicial. A diferença de temperatura entre as faces após três horas, embora significativa (170,7°C), é menor do que a observada no BCCA, o que indica uma menor capacidade de resistência à transferência de calor. A tendência à estabilização das temperaturas após 12 horas, com pouca variação entre a 10ª e a 12ª hora, demonstra que os blocos cerâmicos também atingem um estado de equilíbrio térmico, porém, com gradiente de temperatura menor entre as faces, o que se traduz em menor capacidade de isolamento térmico em

comparação com o BCCA. A maior condutividade térmica dos blocos cerâmicos permite uma transferência de calor mais rápida através do material, que resulta em temperatura mais elevada na face fria e menor tempo para alcançar o equilíbrio térmico.

Tabela 15 - Variação de temperatura nas faces do bloco cerâmico

Tempos (h)	LQ (°C)	LF (°C)	Diferença de temperatura (°C)
0	82,9	34,7	48,2
0,5	159,6	52,5	107,1
1,0	202,1	68,9	133,2
1,5	227,6	72,2	155,4
2,0	242,0	77,2	164,8
2,5	249,4	80,2	169,2
3,0	252,1	81,4	170,7
4,0	254,9	83,6	171,3
5,0	255,5	84,6	170,9
6,0	256,8	84,2	172,6
7,0	246,3	84,1	162,2
8,0	245,0	83,9	161,1
9,0	244,3	84,0	160,3
10,0	243,7	83,7	160,0
12	243,6	83,9	159,7
14	244,8	84,3	160,5
16	245,3	85,3	160,0
18	239,5	85,5	154,0
20	240,2	82,6	157,6
22	239,9	80,6	159,3
24	238,1	81,7	156,4

Fonte: O autor (2024)

A análise conjunta da Figura 19, que representa a variação de temperatura no ensaio de transferência de calor do BCCA durante o aquecimento, e da Figura 20, que ilustra o processo de resfriamento, revela características do comportamento térmico desse material. A Figura 19 demonstra um rápido aquecimento inicial da face quente (LQ), seguido por gradual desaceleração e estabilização da temperatura. Este padrão indica a capacidade do BCCA em absorver calor rapidamente, mas também em resistir à sua transferência para o interior do material. A Figura 20, por sua vez, mostra um resfriamento rápido da face quente (LQ) no início do processo, seguido por diminuição gradual da taxa de resfriamento. Após aproximadamente 150 minutos, a diferença de temperatura entre as faces quente e fria é reduzida a menos de 3 °C, e após 220 minutos as temperaturas se igualam, demonstrando que

o BCCA dissipa o calor acumulado de forma relativamente eficiente. A rápida perda de calor inicial na face quente sugere que a superfície do BCCA possui boa capacidade de emissão de calor e assim facilita o resfriamento do material. A combinação destes padrões de aquecimento e resfriamento indica que o BCCA possui bom equilíbrio entre a capacidade de absorver e dissipar calor, tornando-o um material adequado para aplicações em que o controle da temperatura é importante.

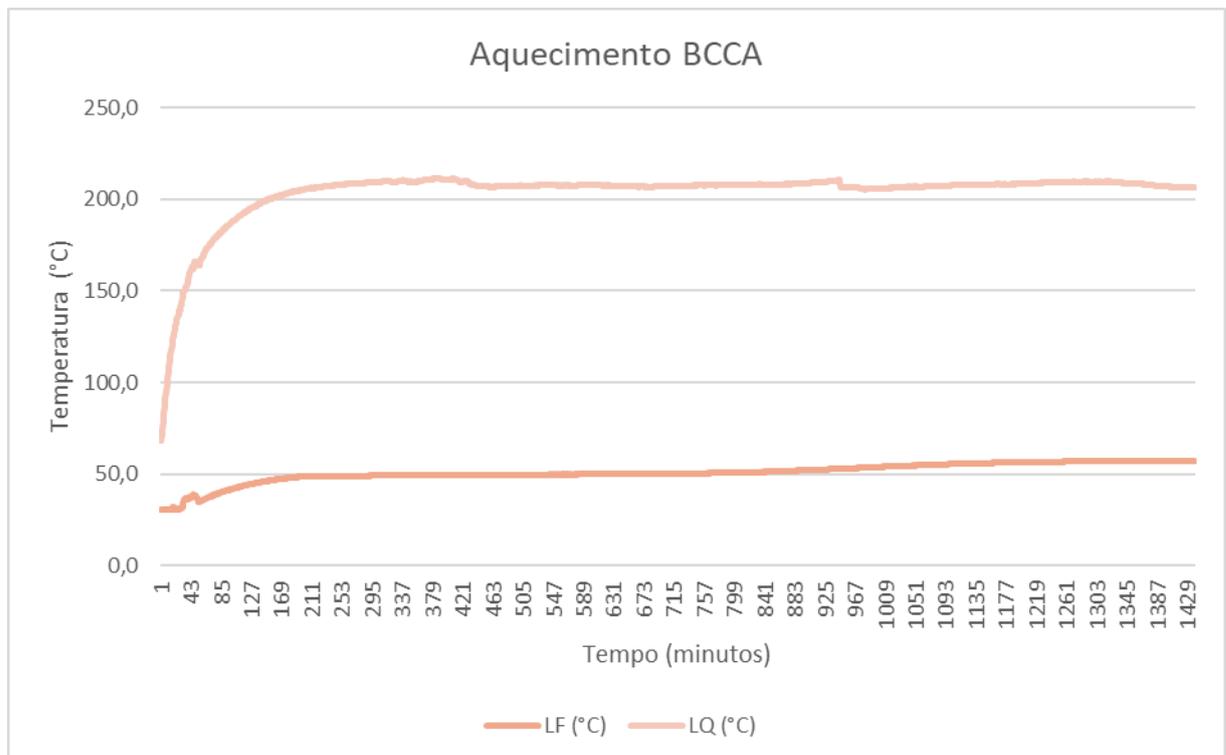


Figura 19 – Gráfico representativo da variação de temperatura no ensaio de transferência de calor do BCAA – Lado quente e frio

Fonte: O autor (2024)

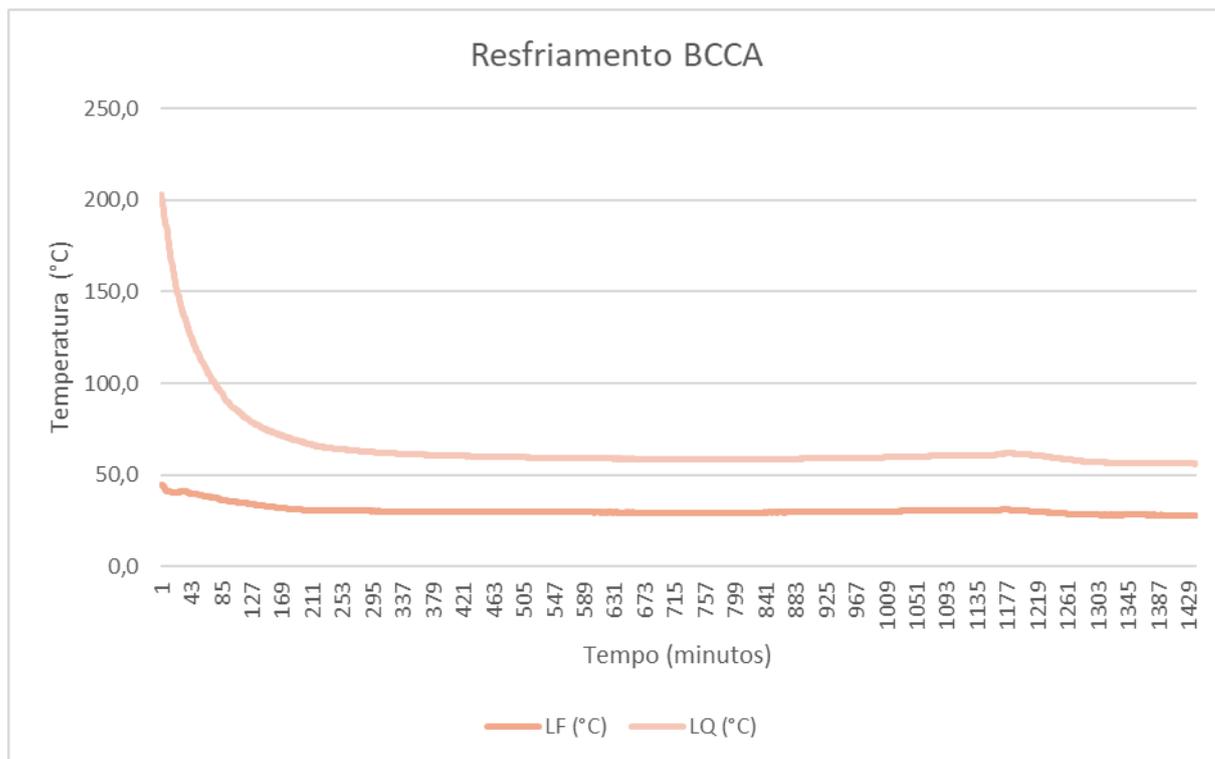


Figura 20 – Gráfico representativo do resfriamento no ensaio de transferência de calor do BCAA – Lado quente e frio
Fonte: O autor (2024)

As Figuras 21 e 22, que representam o aquecimento e resfriamento do bloco cerâmico, revelam um perfil térmico característico deste material. A Figura 21 demonstra que a face quente (LQ) apresenta aquecimento quase imediato, com rápida ascensão da temperatura logo nos primeiros minutos do ensaio. Essa característica sugere uma elevada capacidade de absorção e condução de calor por parte do bloco cerâmico, a qual permite que a energia térmica se propague rapidamente através do material. No entanto, a Figura 22 mostra que a face quente (LQ) também apresenta resfriamento acelerado, com queda brusca de temperatura logo após a remoção da fonte de calor. Esta rápida dissipação de calor indica que o bloco cerâmico não retém calor por muito tempo, o que se traduz em baixa inércia térmica. As duas faces (LQ e LF) tendem a convergir rapidamente para a temperatura ambiente, tanto no aquecimento quanto no resfriamento, e assim demonstra a elevada condutividade térmica do bloco cerâmico. A combinação destes padrões sugere que, embora o bloco cerâmico seja capaz de absorver calor rapidamente, ele também o libera com a mesma velocidade. Os resultados são a baixa capacidade de isolamento térmico e menor estabilidade térmica em comparação com outros materiais, como o BCCA.

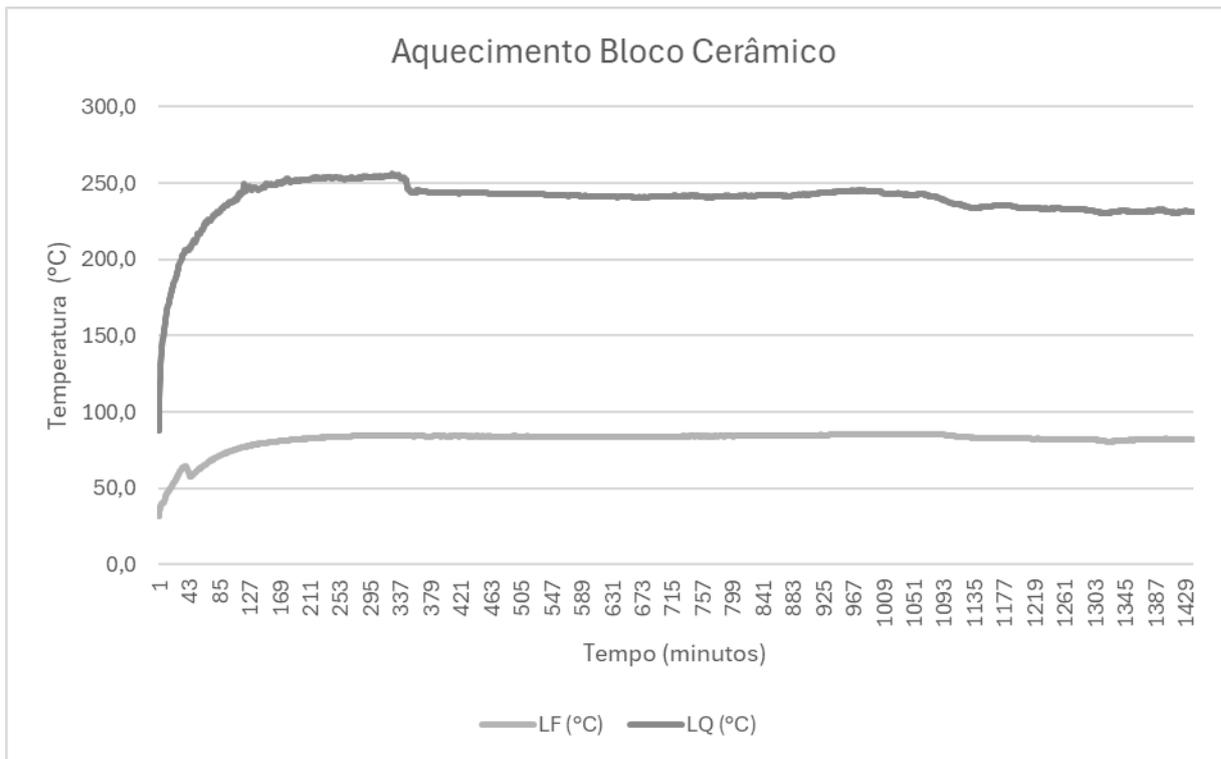


Figura 21 – Gráfico representativo da variação de temperatura no ensaio de transferência de calor do Bloco cerâmico – Lado quente e frio
Fonte: O autor (2024)

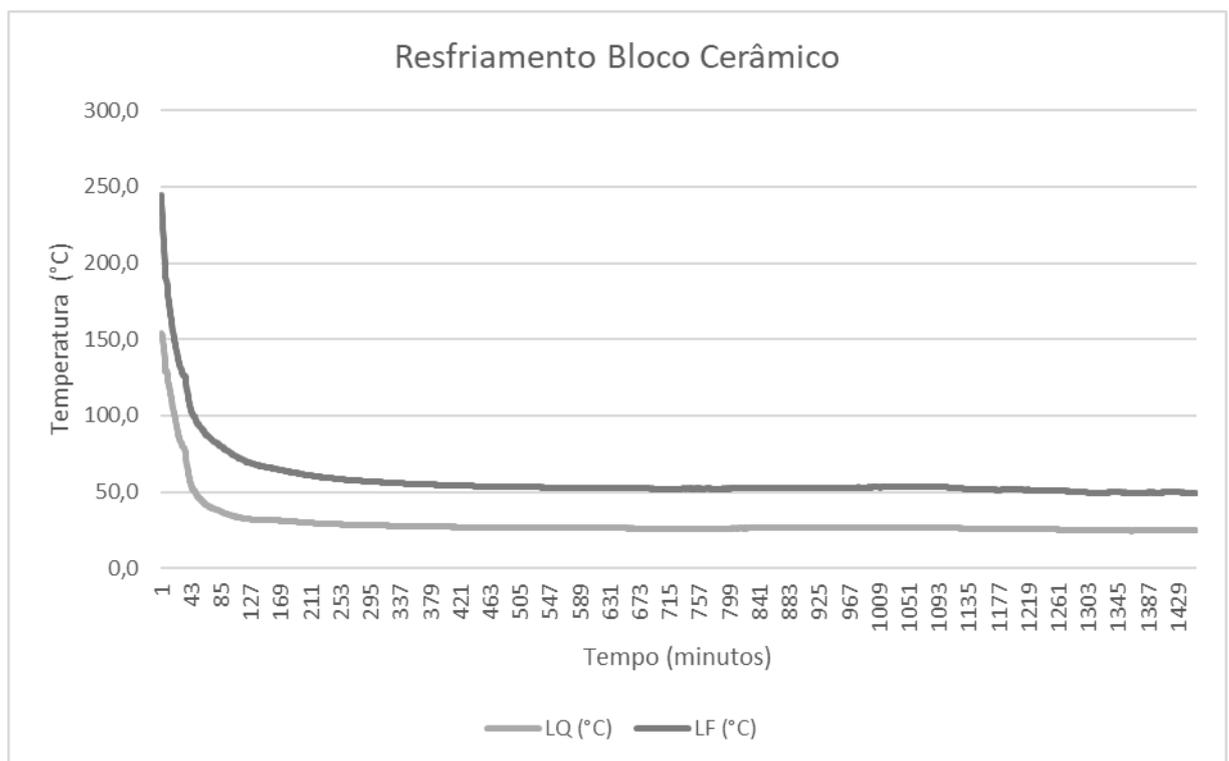


Figura 22 – Gráfico representativo do resfriamento no ensaio de transferência de calor do bloco cerâmico – Lado quente e frio
Fonte: O autor (2024)

A Tabela 13 mostra que a capacidade térmica (CT) do bloco cerâmico ($151 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$) é significativamente maior do que a do BCCA ($58 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$). A capacidade térmica representa a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de uma unidade de área do material em um grau Celsius. Portanto, o bloco cerâmico requer mais energia para aquecer do que o BCCA, ou seja, tem maior capacidade de armazenamento de calor por unidade de área.

Embora a capacidade térmica dos blocos cerâmicos seja maior, o BCCA apresenta um atraso térmico maior (5 horas) em comparação com o bloco cerâmico (3 horas). O atraso térmico indica o tempo necessário para que uma variação de temperatura em uma superfície do material se manifeste na superfície oposta. Um atraso térmico maior sugere que o material é capaz de retardar a transferência de calor, para manter a temperatura mais estável por um período mais prolongado. Silva *et al.* (2019) obtiveram resultado semelhante em seu estudo, quando realizaram a comparação de transferência de calor em paredes de blocos cerâmicos e blocos de gesso maciços, e tijolos também tiveram menor atraso térmico e menor resistência ao calor.

A combinação da maior capacidade térmica nos blocos cerâmicos e maior atraso térmico no BCCA implica diferentes comportamentos térmicos. O bloco cerâmico, com maior capacidade térmica, pode armazenar mais calor. No entanto, o BCCA, com maior atraso térmico, libera o calor armazenado de forma mais lenta e gradual.

A análise dos gráficos de aquecimento e resfriamento (Figuras 19, 20, 21 e 22) corrobora esta interpretação. O bloco cerâmico apresenta um aquecimento mais rápido, mas também um resfriamento mais rápido, indicando menor inércia térmica. O BCCA, por outro lado, apresenta um aquecimento mais lento e um resfriamento mais lento, ou seja, ele mostra que tem capacidade de amortecer as flutuações de temperatura.

Em um contexto de instalações para suinocultura, tais comportamentos térmicos podem ter implicações distintas. Em regiões com grandes variações de temperatura diárias, o BCCA pode ser mais vantajoso devido ao seu maior atraso térmico. A capacidade de retardar a transferência de calor ajuda a manter a temperatura mais constante no interior da instalação e assim minimizar os picos de calor durante o dia e de frio durante a noite. Isso pode reduzir a necessidade de sistemas de climatização artificial, economizar energia e melhorar o conforto dos animais.

A criteriosa seleção de materiais de construção para instalações suinícolas é fundamental para a manutenção de um ambiente termo-higrométrico adequado ao desenvolvimento animal. A conhecida sensibilidade da produção suína às flutuações de temperatura, com impactos deletérios no ganho de peso, eficiência alimentar e desempenho

reprodutivo, confere ao isolamento térmico um papel crucial na mitigação do estresse térmico e na redução da dependência de sistemas artificiais de climatização. Neste contexto, tanto o bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) quanto o bloco cerâmico apresentam características relevantes para aplicação em edificações rurais, contudo, as propriedades termofísicas destes blocos distintas requerem análise aprofundada.

O BCCA, caracterizado por ter estrutura alveolar e baixa densidade, proporciona elevado coeficiente de isolamento térmico e atraso térmico significativo, características que favorecem a estabilidade térmica interna. Resultados obtidos em ensaios de transferência de calor, demonstrados pela expressiva diferença de temperatura entre as faces do material sob fluxo de calor, corroboram sua alta resistência térmica, configurando-o como alternativa eficiente em regiões com elevada amplitude térmica diurna. Entretanto, sua elevada higroscopicidade exige atenção especial quanto à implementação de sistemas de impermeabilização, visando à prevenção de patologias construtivas e à manutenção de sua durabilidade.

O bloco cerâmico, em contrapartida, apresenta maior densidade e, conseqüentemente, menor resistência térmica. A baixa absorção de água do bloco cerâmico, no entanto, confere maior resiliência em ambientes com elevada umidade relativa. A elevada condutividade térmica, evidenciada pela rápida dinâmica de aquecimento e resfriamento, pode resultar em maiores oscilações da temperatura interna da instalação. A escolha ótima entre os dois materiais, portanto, deve ser baseada nas características climáticas regionais e nas necessidades específicas da produção. Em região com acentuada amplitude térmica, o BCCA destaca-se como a solução mais vantajosa, desde que acompanhada de medidas de impermeabilização eficazes. Em regiões de menor variação térmica ou elevada umidade, o bloco cerâmico se apresenta como alternativa de maior durabilidade.

A análise comparativa do desempenho térmico do BCCA e do bloco cerâmico reforça a importância de uma abordagem bioclimática abrangente no projeto de instalações suínícolas, considerando não somente as propriedades termofísicas dos materiais, mas também a orientação da edificação, estratégias de ventilação natural e demais parâmetros relevantes para a otimização do conforto térmico e da eficiência energética. A seleção do material deve estar interligada a um planejamento bem elaborado, levando em conta as variáveis climáticas locais, as características da produção e a análise custo-benefício associada à instalação e à manutenção de cada sistema.

5. CONCLUSÃO

Este estudo alcança seu objetivo central com base na análise das características físicas e, principalmente, do desempenho térmico de diferentes blocos de vedação, que foi identificar a solução mais eficiente para construções rurais voltadas para a suinocultura. Por meio de ensaios laboratoriais, e em busca tanto de diretrizes normativas quanto de adaptar metodologias para explorar nuances específicas dos materiais, foi possível traçar um panorama comparativo elucidativo. Os ensaios referentes à caracterização física lançaram luz sobre as particularidades de cada bloco e revelaram como as propriedades intrínsecas a cada um deles impactam diretamente no que tange à atuação como barreira térmica.

Concluiu-se, portanto, que:

- A construção e utilização de uma câmara de transferência de calor customizada foram importantes para simular, em ambiente controlado, as trocas térmicas que ocorrem nas instalações suinícolas. Ao monitorar o comportamento dos blocos de BCCA (concreto celular autoclavado) e cerâmico em condições de aquecimento e de resfriamento, foi possível quantificar e qualificar as respostas desses e revelar padrões distintos e oscilações importantes para a tomada de decisão;
- O BCCA destaca-se como o material mais vantajoso em termos de eficiência térmica para edificações rurais destinadas à suinocultura. O atraso térmico significativo e a boa capacidade de dissipação de calor contribuíram para um ambiente mais confortável para os animais, visto que foi minimizada a necessidade de climatização artificial e, conseqüentemente, reduziu-se o consumo energético e
- A elevada capacidade de absorção de água do BCCA exigiu atenção redobrada com a impermeabilização das estruturas, garantiu durabilidade e evitou problemas relacionados à umidade. Em contrapartida, os blocos cerâmicos, embora tenham apresentado menor capacidade de isolamento, ofereceram maior resistência à umidade. Por isso, os blocos cerâmicos foram mais adequados para regiões com menor amplitude térmica ou onde esse fator foi mais crítico.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo comparativo revelou que o Bloco de Concreto Celular Autoclavado (BCCA) e os blocos cerâmicos apresentaram desempenhos térmicos distintos em instalações de suinocultura. O BCCA exibiu resistência superior e atraso térmico, ideais para climas com grande variação de temperatura, enquanto os blocos cerâmicos demonstraram resiliência à umidade. A escolha entre ambos demandou análise criteriosa de custo-benefício e condições climáticas locais. Assim, sugere-se que trabalhos futuros foquem em modelagem computacional, análise detalhada dos custos de ciclo de vida, influência da absorção de água e desenvolvimento de impermeabilização otimizada, avaliação do desempenho acústico, impacto na produção animal e incorporação de materiais alternativos, visando às construções mais eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis para a suinocultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. T. Sistemas de produção de suínos. In: II Semana da Zootecnia. Diamantina, 2004. **Anais...** FAFEID: Diamantina, p. 35-54, 2004.

ANDRADE, B. S. O. **Concreto armado**: um estudo sobre o processo histórico, características, durabilidade, proteção e recuperação de suas estruturas. Monografia apresentada UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia, do Curso de Especialização em Construção Civil – UFMG – Dep. Tecnologia e produtividade das construções, 2016.

ANDRADE, P. M. **Análise comparativa entre bloco cerâmico, bloco de concreto e bloco de concreto celular em alvenarias de vedação**. Trabalho de conclusão de Curso apresentado na Universidade Anhembi Morumbi – São Paulo, 2022.

ARGELIN, A. F. **Concreto leve estrutural – Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Unicamp – Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas. Mestrado em Tecnologia, área de concentração em Tecnologia de Inovação, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 35**: Agregados leves para concreto estrutural. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria - Requisitos. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria - Métodos de ensaio. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281-1**: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13438**: Blocos de concreto celular autoclavado - Requisitos. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13440**: Blocos de concreto celular autoclavado - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14974**: Blocos sílico-calcário para alvenaria Parte 1 – Requisitos, dimensões e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14974**: Blocos sílico-calcário para alvenaria Parte 2 – Procedimentos para execução de alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos-Blocos e tijolos para alvenaria-Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos-Blocos e tijolos para alvenaria-Parte 2: Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho: sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16590-1**: Composto polimérico para assentamento de alvenaria de vedação Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho Térmico das Edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes construtivos. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatório Anual ABPA 2024**. São Paulo: ABPA, 2024, 150 p.

ATAÍDE et al. Análise comparativa de desempenho térmico e acústico entre vedações internas de alvenaria de bloco cerâmico e bloco de concreto celular autoclavado. **VII Encontro de Sustentabilidade em Projeto – ENSUS**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2019.

BALDWIN B. A. et al. The effect of conditioned behaviour and environmental factors on plasma corticosteroid levels in pigs. **Physiol. Behav.**, 1973.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais – Conforto animal**. Viçosa: Editora UFV, 1997. 245p.

BARBOSA, E. M. L. Análise comparativa entre alvenaria em bloco cerâmico de vedação e *dry wall*. **Revista Especialize Online IPOG**. Edição 10, 2015.

BARBOSA, T. N. de. O. Tipos de enriquecimento ambiental na suinocultura. **Relatório de Projeto como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Zootecnia**. Universidade Federal de Goiás (UFG), Jataí, 2017.

BARBOSA, F. B. et al. **Um comparativo entre os blocos cerâmicos utilizados nas edificações de Caruaru**: estudos preliminares. Instituto Federal de Pernambuco, Caruaru-PE, 2011.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higratérmico dos edifícios**. Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2004.

BENVEGNÚ, A. e L. Propriedades mecânicas e térmicas do concreto celular autoclavado. In: XX1 Jornada Científica da Univel, Cascavel-PR, 2023.

BERGMAN, T. L. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2014. Traduzido de Fundamentals of heat and mass transfer. 7th edition. Copyright © 2011. ISBN: 978-0470-50197-9.

BOGGELEN, W. V. A. History of Autoclaved Aerated Concrete – The short story of a long lasting building material. **Aircrete Europe**, 2014.

BORGES, V. F.; MEINHART, M.; JUNGES, M. Caracterização da mumificação fetal em suínos de acordo com o tamanho dos fetos. In: Congresso Brasileiro de Especialistas em suínos, **Anais...**, Fortaleza, p. 197-198, 2003.

BRUM, Graziane da Silva. **Estratégias bioclimáticas passivas para autoconstrução em Santa Maria - RS**. 2024, 212f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Programa De Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, UFSM, Santa Maria, 2024.

CAMPO, J. A. et al. Ambiente térmico e desempenho de suínos em dois modelos de maternidade e creche. **Revista Ceres**, v. 55, n. 3, p. 187-193, 2008.

CAMPOS, J. A. et al. Qualidade do ar, ambiente térmico e desempenho de suínos criados em creches com dimensões diferentes. **Rev. Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 339-347, 2009.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, GERALDOCEHELLA (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1^a ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

CAVALCANTE, S. S. **Suinocultura Dinâmica**. Belo Horizonte: Itapuã Editora e Gráfica Ltda, 2^a ed., 2000. 494 p.

CHEHEBE, J. R., B. **Análise de Ciclo de Vida de Produtos**. Ed. Qualitymark. Rio de Janeiro, 1997.

CHUROCOF, J. P. A. Substituição de Agregado Graúdo Natural por Poliestireno Expandido: Concreto Leve. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação - REASE**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 358-372, 2023. DOI: 10.51891/rease.v9i2.8469. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br/index.php/rease/article/view/8469>. Acesso em: 22 nov. 2023.

CLERICE, T. A. **Análise de laudos técnicos segundo ABNT NBR 15575-4 para bloco de concreto celular autoclavado**: um estudo de caso. Trabalho de conclusão de curso de graduação UFSM, RS – Universidade Federal em Santa Maria – Dep. Engenheiro Civil.

CNA BRASIL, Sistema CNA / SENAR / Instituto CNA, 2020, **Boletim CNA**, 2020. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/noticias/boletim-cna-destaca-divulgacao-de-balanco-e-perspectivas-para-o-agro>. Acesso em: 03 de jan., de 2023.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Tranferência de calor e massa**. 4ª ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda., 2012.

CORDEIRO, M. B. et al. Efeito de sistemas de criação no conforto térmico ambiente e no desempenho produtivo de suínos na primavera. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1597-1602, 2007.

COSTA, M. R. M. **Método construtivo de alvenaria de vedação de blocos de concreto celular autoclavado**. 1996, 21f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

COSTA, O. **Estudo de viabilidade técnica: alvenaria de vedação com blocos cerâmicos vazados na horizontal versus alvenaria de blocos de concreto celular autoclavados**. 2016, 16f. Monografia (Especialização) - Curso de MBA Gerenciamento, Tecnologia e Qualidade da Construção Civil, Instituto de Pós-graduação - IPOG, Porto Alegre, 2016.

COSTA, S. P. **Eficiência energética em edificações e o uso de fontes alternativas de energia em projetos residenciais urbanos: estudo de casos**. 2007, 88f. Monografia (Especialização em Formas Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, MG, 2007.

COUTINHO, A. S. **Conforto térmico e insalubridade térmica em ambientes de trabalho**. João Pessoa: Ed. Universitária, 2009.

DAMJANOVIC, V. M. C., BURAZER, J., STAMENIC, M., CANTRAK, D., LECIC, M. Architectural design influences and HVAC systems' measures on energy savings of a high energy demand residential building, In: **The 3rd International Symposium on Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA)**. IEEE, p. 1-6, 2014.

EMBRAPA. **Suínos e aves: estatísticas**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. Acesso em: 17 jul., 2024.

EREC, S. T., et al. Conselho Europeu de Energia Renovável. **Revolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo**. São Paulo, Ed. Pigma, 2010.

ESMAY, M. L. Principles of animal environment. West Port CT: **ABI**, 1982, 325p.

FABIEN et al. Effect of several parameters on non-autoclaved aerated concrete: use of recycling waste perlite, **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, v. 26, n. 1, p. 58-75, 2022, DOI: 10.1080/19648189.2019.1647465.

FERRAZ, F. de C. **Comparação dos sistemas de alvenaria de vedação: bloco de concreto celular autoclavado x bloco cerâmico**. 2011, 97f. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

FEEREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 1ª ed., 2005, 371p.

FERREIRA, G. R. S. **Estudo da resistência de aderência na alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado**. Trabalho de conclusão de curso de graduação UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dep. Bacharel em Engenharia Civil, 2023.

FIEGENBAUM, A. C.; FERREIRA, M. F. **Análise comparativa de isolamento térmico entre painéis pré-moldados, alvenaria de vedação de blocos de concreto e blocos cerâmicos, para atender à NBR 15575, para fins de conforto térmico**. Univates, 2018, 14p.

FILHO, J. A. A. S. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.

FOMINA, E. V. et al. The raw materials genetic characteristics role in autoclave cellular concrete carbonation process. In: **Materials Science Forum**. Trans Tech Publications, Ltd. v. 974, p. 224-230, 2019. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.974.224>.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 8ª ed. São Paulo, 2007.

FREITAS, R. O. **Bem-estar na Suinocultura - Revisão de Literatura**. Rhillary Oliveira Freitas. Fernandópolis: Universidade Brasil, 2022.

GHELFI FILHO; SILVA; I. J. O.; MOURA, D. J; CONSIGLIERO, F. R. Índice de conforto térmico e da CTR para diferentes materiais de cobertura em três estações do ano. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 20, 1991, Londrina, **Anais...**, Londrina: SBEA, 1992, p. 94-110.

GONÇALVES, M. F. **Estudo comparativo entre blocos cerâmicos, blocos de concreto e blocos solo-cimento para execução de alvenaria**. Universidade Regional do Cariri. Juazeiro do Norte, 2016.

GUERRERO, I. C.; OCAÑA, S. M.; REQUENA, I. G. Thermal-physical aspects of materials used for the construction of rural buildings in Soria (Spain). **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 19, p. 197-211, 2005.

HANNAS, M. I. Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: SILVA, I. J. O. **Ambiência e Qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 01-33.

HATTGE, A. F. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em bloco de concreto**. Porto Alegre, 2004.

IBRAHIM, A., MAHMOUD, E., YAMIN, M., PATIBANDLA, V. C. Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. **Constr. Build. Mater**, v. 50, p. 524-529, 2014.

IFIP - INSTITUT DU PORC. **Oferta global de carne suína em 2024: previsões de queda**. 3tres3, 2024. Disponível em: https://www.3tres3.com.br/autores/ifip-institut-du-porc_821/. Acesso em: 17 jul., 2024.

ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. v. 2, 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

INCROPERA, F. P.; WITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. 4ª ed.,

Rio de Janeiro: LTC, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em: 5 jul., 2024.

INVIDIATA, A., GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. **Energy and Buildings**. n. 130, p. 20-32, 2016.

JÚNIOR, L. L. M. et al. Estudo do desempenho térmico de blocos maciços de gesso. **Revista de Engenharia Civil**. Braga, n. 59, p. 54-63, 2022.

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

KUMAR, et al. Bond strength of autoclaved aerated concrete manufactured using partial replacement of flyash with fibers – A review. **Materials Today. Proceedings**. v. 65, Part 2, p. 581-589, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.191>. Acesso em: 25 fev. 2024.

LAMBERTS, R. et al. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed., Rio de Janeiro, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Procel, 2019.

LEGATSKI, L. M. Cellular concrete: significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. Philadelphia: **American Society for Testing and Materials**, p. 836-851, 1978 (ASTM 169B).

LIBRELOTTO, G. R. **Comparação entre os critérios de avaliação envolvidos nos sistemas de certificação de edificações aqua ae leed for schools**, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/26045>>. Acesso em: 25 fev. 2024

MANNO, M. C. et al. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 15 aos 30 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 34, n. 6, p. 1963-1970, 2005.

MARTINS, T. D. D.; COSTA, A. N. Desempenho e comportamento de remas suínas lactentes criadas em climas tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v. 57, p. 77-88, 2008.

MASCARÓ, LÚCIA R. DE. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. 2ª Edição. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda., 1991.

MAYCÁ, J., et al. **Contribuição ao estudo da argila expandida nacional como alternativa de agregado graúdo para concretos leves estruturais (CLE)**. Especialização em Construção Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

MENDONÇA, L. V.; AMARAL, M. M.; CATARINO, P. S. **A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios**. Lisboa: Spybuilding, 2013.

MIELE, M. Entrevista concedida ao Presente Rural. **O Presente Rural**, 2023. Disponível em: <https://opresenterural.com.br/o-agro-familiar-e-seu-papel-na-suinocultura/>. Acesso em: 18 jul., 2024.

MINOTTO, F. L.; VARGAS, A. **Análise da Influência de diferentes sistemas de vedação vertical no custo final de uma estrutura em concreto armado**. 2011, 12f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

MISSOUM, M., et al. Impact of a grid-connected PV system application in a bioclimatic house toward the zero energy status in the North of Algeria. **Energy and Buildings**. 128, p. 370-383, 2016.

MOTA, J. A. R. **Influência da junta vertical na resistência à compressão de prismas em alvenaria estrutural de blocos de concreto e blocos de concreto celular autoclavado**. Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharias de Estruturas UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

MOREIRA, I.; et al. Desempenho e características de carcaça de suínos (33 – 84 kg) criados em baias de piso compacto ou com lâmina d'água. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 132-139, 2003.

NÄÄS, I. A. **Princípios do conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Editora Icone, 1989, 183p.

NOGUEIRA, A. M. M. et al. **Alvenaria de vedação comum x gesso acartonado. Pós-graduação em Construção Civil**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

OLGYAY, V. **Arquitetura y Clima**: manual de diseno bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, P. A. V. de; SILVA, A. P. da. **As edificações e os detalhes construtivos voltados para o manejo de dejetos na suinocultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006.

PANDORFI, H. et al. Microclima de abrigos escamoteadores para leitões submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 99-106, 2005.

PEREIRA, J. C. C. **Fundamentos de bioclimatologia aplicada à produção animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ Editora, 2005, 195p.

PINHEIRO, M. S. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Monografia apresentada à Universidade de São Paulo (USP). Escola de Engenharia de São Carlos - USP – EESC – Dep. Eng. de Estruturas, 2004.

PINTO, C. F. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável**: o uso de fontes alternativas de energia. 2009, 224f. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2009.

PINTO, R. B. **Determinação experimental e numérica da redução sonora aérea em paredes de alvenaria utilizadas em habitações**. 97f. Dissertação. Programa de Pós-

graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

PROJETEE. Ministério do Meio Ambiente. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Plataforma Nacional. Brasília, 2022. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee/sobre-o-projeteee>. Acesso em: 11 ago., de 2022.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2ª Ed. Porto alegre: D. C. Luzzatto, 1986, 240p.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve Estrutural: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 119-127, out./dez., 2009.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N.G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**. v. 105, p. 178-205, 2015.

SARTOR, V. BAÊTA, F. C. TINÔCO, I. F. F.; LUZ, M. L. **Efeito do resfriamento evaporativo no desempenho de suínos em fase de terminação**. Engenharia na Agricultura, v.11, n.1-4, p.58-64, 2003.

SARUBBI, J. **Estudo do conforto térmico, desempenho animal e racionalização de energia em uma instalação de suínos na região de Boituva – SP**. 120f., 2005. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, 2005.

SILVA, G. C. da, BATISTA, P. I. B., e PÓVOAS, Y. V. Avaliação térmica de componentes de alvenarias por meio da termografia infravermelha. **Encontro latino americano e europeu sobre edificações e comunidades sustentáveis**, 3, p. 887-895, 2023. Recuperado de <https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2802>.

SILVA, I. J. O. **Qualidade do ambiente e instalações na produção industrial de suínos**. In: **Simpósio Internacional de Suinocultura**. São Paulo, 1999. Anais. São Paulo: Gessuli, p. 108-121, 1999.

SILVA, I. J. O.; PANDORFI, H.; PIEDADE, S. M. S. Uso da zootecnia de precisão na avaliação do comportamento de leitões lactentes submetidos a diferentes sistemas de aquecimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 1, p.220-229, 2005.

SILVA, J. D. F. **Efeito da composição química sobre as características mecânicas e térmicas do concreto celular autoclavado**. 2011. 56,58 p. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SILVA, E. P., CAHINO, J. E. M. E MELO, A. B. Avaliação do desempenho térmico de blocos EVA. In: **Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído**, 14, p. 1478 – 1484, 2012.

SOUSA, L. F. R. de. **Aplicação de Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios**. Dissertação. Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro. 2010.

SORGATO, M. J., MELO, A. P., LAMBERTS, R. The effect of window opening ventilation

control on residential building energy consumption. **Energy and Buildings**. v. 133, p. 1-13, 2016.

SPECHT, L. P. et al. Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais. **Ambiente Construído**. v. 10, n. 4, 2010.

STEPIEN et al. Insulated Autoclaved Cellular Concretes and Improvement of Their Mechanical and Hydrothermal Properties. In: Kośny, J., Yarbrough, D.W. (eds) Thermal Insulation and Radiation Control Technologies for Buildings. **Green energy and technology**. Springer, Cham. 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98693-3_13. Acesso em: 1 mar., 2024.

TÉCHNE. **Alvenaria Racionalizada: Tecnologia**. 2012. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo285542-1.aspx>>. Acesso em: 1 mar., 2024.

TAVARES, S. L. S. et al. Influência da temperatura ambiente sobre o desempenho e os parâmetros fisiológicos de suínos machos castrados dos 30 aos 60 kg. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 1, p. 199-205, 2000.

TEIXEIRA, V. H. **Construções e ambiência**. Lavras: FAEPE, 1997. 181p.

TEIXEIRA, V. H. **Resfriamento adiabático evaporativo na edificação de maternidade para suínos**. 1996. 93f. Tese (Doutorado em Zootecnia), 1996.

TINÔCO, I. F. F. et al. Avaliação do índice de temperatura de globo negro e umidade e desempenho de suínos nas fases de crescimento e terminação criados em sistemas de camas sobrepostas em condições de verão. **Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1624-1629, 2007.

TOLON, Y. B.; NÄÄS, I. A. Avaliação de tipos de ventilação em maternidade de suínos. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 565-574, 2005.

TURCO, S. H. N. et al. Desempenho de porcas e leitões em maternidade com diferentes sistemas de condicionamento térmico no inverno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 5, p. 988-993, 1998.

VIANA, S. A. O.; ALVES, E. C. **Análise de Custo e Viabilidade Dentre os Sistemas de Vedação de Bloco Cerâmico e Drywall**. Associado ao Painel Monolite EPS. Rio de Janeiro: Abpe, 2013.

VITORINO, et al.; Matriz MET - Materiais, energia, toxicidade - aplicada ao bloco de concreto celular autoclavado. **Revista Construindo**, Belo Horizonte, v. 15, n. 01, p. 69-77, 2023.

WATSON, D.; MILNE, M. Bioclimatic design. In: WATSON, D.; MILNE, M. **Time saver standards**. 7th ed. McGraw Hill, p. 3-15, 1998.

WITZKE, F. B. Análise técnico-econômica dos blocos de concreto celular autoclavado na alvenaria de vedação. **Revista Engenharia e Construção Civil**. Curitiba, 2015, 14p.