



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CAMPUS RUSSAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGECC

ORISMILDES GOMES DE ALMEIDA NETO

**BLOCOS DE CONCRETO PARA VEDAÇÃO TERMICAMENTE EFICIENTES
COM RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXTRUDADO (XPS): DESENVOLVIMENTO
E TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA**

RUSSAS

2026

ORISMILDES GOMES DE ALMEIDA NETO

BLOCOS DE CONCRETO PARA VEDAÇÃO TERMICAMENTE EFICIENTES COM
RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXTRUDADO (XPS): DESENVOLVIMENTO E
TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Engenharia civil.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Teles Viana.
Coorientadora: Profa. Dra. Laís Cristina
Barbosa Costa.

RUSSAS

2026

ORISMILDES GOMES DE ALMEIDA NETO

BLOCOS DE CONCRETO PARA VEDAÇÃO TERMICAMENTE EFICIENTES COM
RESÍDUO DE POLIESTIRENO EXTRUDADO (XPS): DESENVOLVIMENTO E
TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Engenharia civil.

Aprovado em: 25 / 02 / 2026

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Silvia Teles Viana (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dra. Laís Cristina Barbosa Costa (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Bruna Silva Almada
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Abrahão Bernardo Rohden
Fundação Universidade Regional de Blumeau (FURB)

Dedico este trabalho a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança em cada etapa desta jornada. Aos meus familiares, pelo amor e apoio incondicional. E aos meus amigos, por estarem ao meu lado com palavras de incentivo e companheirismo nos momentos mais desafiadores.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha eterna gratidão por iluminar meus caminhos, renovar minhas forças nos momentos difíceis e conceder-me sabedoria para seguir firme nesta jornada.

À memória do meu pai, Serafim Tavares Brandão Filho, que partiu em 23 de abril de 2024, deixo meu amor, respeito e admiração eternos. À minha mãe, Neide Maria Almeida Brandão, agradeço pelo amor incondicional e apoio constante. Aos meus irmãos, Nazareth, Francisco Nazareno e Margareth Almeida Brandão, e ao meu cunhado, Francisco Edilson, sou grato pelo incentivo e carinho ao longo dessa caminhada.

À minha orientadora, Professora Silvia Teles Viana, e à minha coorientadora, Laís Cristina Barbosa Costa, agradeço pela orientação, pelas valiosas contribuições e pelo apoio técnico e humano durante o desenvolvimento deste trabalho. Ao corpo docente da Universidade Federal do Ceará, registro meu reconhecimento pela formação sólida proporcionada.

Aos amigos, colegas de turma e companheiros de laboratório, especialmente Bruno de Oliveira e João Pedro, agradeço pelo convívio e pelas trocas de experiências. Aos Técnicos Administrativos em Educação do campus da UFC em Russas e aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil, Allisson Guilherme e Myckelle Michely, agradeço pelo suporte essencial na realização dos ensaios. Aos bolsistas Magna Bocage, Davi Cruz e Max Prado, minha gratidão pela colaboração e comprometimento.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), agradeço pelo apoio financeiro e institucional que possibilitou a realização desta pesquisa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta etapa, meu sincero agradecimento.

"Meça o que é mensurável e torne mensurável o que não é." (GALILEI)

RESUMO

A crescente geração de resíduos plásticos e a necessidade de soluções construtivas mais eficientes do ponto de vista térmico e ambiental têm impulsionado pesquisas voltadas à incorporação de materiais poliméricos em matrizes cimentícias. Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo desenvolver e avaliar blocos de concreto para alvenaria de vedação com substituição volumétrica parcial do agregado graúdo por resíduo de poliestireno extrudado (XPS), analisando seu desempenho físico, mecânico e térmico, bem como seu potencial de aplicação social. Inicialmente, foi realizada uma etapa piloto com diferentes teores de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS (25%, 30%, 35% e 40%), além do traço de referência sem incorporação do resíduo. Os concretos produzidos foram avaliados quanto à massa específica aparente, massa específica da amostra seca, resistência à compressão e velocidade de pulso ultrassônico. Com base nos resultados obtidos, o teor de 35% foi selecionado para a etapa em escala real. Na etapa seguinte, foram produzidos blocos de concreto submetidos a ensaios de resistência à compressão e avaliação de desempenho térmico. A análise térmica foi conduzida por meio de ensaios experimentais com monitoramento da variação de temperatura ao longo do tempo e estimativa da condutividade térmica aparente, comparando-se o traço com 35% de XPS ao traço de referência. Adicionalmente, foram determinadas propriedades térmicas complementares, como calor específico, visando melhor compreensão do comportamento térmico do material. Os resultados indicaram redução significativa da massa específica com a incorporação do XPS, evidenciando ganho de leveza do material. Observou-se também diminuição da condutividade térmica em relação ao concreto convencional, demonstrando melhoria no desempenho térmico, mantendo resistência mecânica compatível com aplicações em alvenaria de vedação, conforme os requisitos normativos vigentes. Por fim, foram realizadas ações de transferência tecnológica junto a uma comunidade local, incluindo capacitação e demonstração do processo produtivo. As atividades indicaram compatibilidade técnica do método construtivo com o contexto comunitário e potencial de aplicação social, embora a consolidação de uma produção contínua dependa de organização operacional e estruturação produtiva. De modo geral, o estudo demonstra que a utilização de resíduos de XPS na produção de blocos de concreto para vedação constitui uma alternativa tecnicamente viável, termicamente mais eficiente que o material convencional e com potencial de contribuição ambiental e social.

Palavras-chave: blocos de concreto para vedação; poliestireno extrudado (xps); desempenho térmico; condutividade térmica; transferência tecnológica.

ABSTRACT

The increasing generation of plastic waste and the need for more thermally and environmentally efficient construction solutions have driven research on the incorporation of polymeric materials into cementitious matrices. In this context, this study aimed to develop and evaluate concrete masonry blocks with partial volumetric replacement of coarse aggregate by extruded polystyrene (XPS) waste, analyzing their physical, mechanical, and thermal performance, as well as their potential for social application. Initially, a pilot phase was conducted with different volumetric replacement levels of coarse aggregate by XPS (25%, 30%, 35%, and 40%), in addition to a reference mixture without waste incorporation. The produced concretes were evaluated in terms of apparent density, oven-dry density, compressive strength, and ultrasonic pulse velocity. Based on the obtained results, the 35% replacement level was selected for the full-scale production phase. In the subsequent stage, concrete blocks were produced and subjected to compressive strength testing and thermal performance evaluation. Thermal analysis was carried out through experimental tests with temperature monitoring over time and estimation of apparent thermal conductivity, comparing the 35% XPS mixture with the reference mixture. Complementary thermal properties, such as specific heat, were also determined to improve the understanding of the material's thermal behavior. The results indicated a significant reduction in density with XPS incorporation, demonstrating increased material lightness. A decrease in thermal conductivity compared to conventional concrete was also observed, indicating improved thermal performance while maintaining compressive strength compatible with non-load-bearing masonry requirements, according to applicable standards. Finally, technology transfer actions were conducted within a local community, including training and demonstration of the production process. These activities indicated technical compatibility of the constructive method with the community context and potential for social application, although continuous production still depends on operational structuring and organizational development. Overall, the study demonstrates that the use of XPS waste in the production of concrete masonry blocks constitutes a technically feasible alternative, thermally more efficient than conventional material, and with potential environmental and social contributions.

Keywords: concrete blocks for masonry infill; extruded polystyrene (xps); thermal performance; thermal conductivity; technology transfer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa	25
Figura 2	– Resíduo de poliestireno extrudado triturado, proveniente da cozinha comunitária	26
Figura 3	– Curvas granulométricas do agregado miúdo, agregado graúdo e resíduo de XPS	27
Figura 4	– Curva granulométrica da mistura dos agregados em comparação com a faixa recomendada para concreto seco	29
Figura 5	– Etapas da produção dos blocos de concreto em escala real	33
Figura 6	– Procedimento experimental adotado para a determinação da condutividade térmica	35
Figura 7	– Procedimento experimental adotado para a determinação do calor específico das amostras de concreto	36
Figura 8	– Massa específica aparente e massa específica seca dos concretos da etapa piloto	39
Figura 9	– Velocidade de pulso ultrassônico dos concretos com diferentes teores de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS	41
Figura 10	– Resistência à compressão axial dos concretos com diferentes teores de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS	42
Figura 11	– Blocos de concreto para vedação produzidos em escala real	44
Figura 12	– Resistência à compressão individual dos blocos e valor médio do lote (35% XPS)	45
Figura 13	– Absorção de água individual dos blocos e valor médio do lote (35% XPS)	46
Figura 14	– Condutividade térmica das placas de concreto de referência e com 35% de XPS	47
Figura 15	– Calor específico das amostras de concreto de referência e com 35% de XPS	48
Figura 16	– Atividades de transferência de tecnologia realizadas no distrito de Aracati-CE	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Caracterização física dos materiais utilizados na etapa piloto	28
Tabela 2	– Traços avaliados na etapa piloto (proporções dos agregados expressas em massa; substituição do agregado graúdo por XPS realizada em termos volumétricos)	30
Tabela 3	– Comparação visual dos blocos em 0 e 150 dias de exposição natural	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ARI	Alta Resistência Inicial
CEN	European Committee for Standardization
CP V- ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
DMC	Dimensão Máxima Característica
EN	European Standard
EPS	Poliestireno Expandido
IEA	International Energy Agency
IMBRA	Instituto Manuel Carlos
ISO	International Organization for Standardization
MF	Módulo de Finura
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
TAE	Técnico Administrativo em Educação
UFC	Universidade Federal do Ceará
USPR	Unidade Social Produtora de Refeições
XPS	Poliestireno Extrudado
ZTI	Zona de Transição Interfacial

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	17
<i>1.1.1 Objetivo Geral</i>	17
<i>1.1.2 Objetivos Específicos</i>	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 Construção civil e incorporação de resíduos em materiais cimentícios	18
2.2 Polímeros e resíduos plásticos na construção civil	19
2.3 Poliestireno em matrizes cimentícias	20
2.4 Blocos de concreto para alvenaria de vedação	21
2.5 Desempenho térmico de elementos de vedação	22
2.6 Programas sociais, resíduos e transferência de tecnologia na construção civil	23
3 METODOLOGIA	25
3.1 Materiais	25
3.2 Caracterização dos Materiais	27
3.3 Definição dos traços na etapa piloto	28
3.4 Etapa piloto: moldagem e ensaios dos corpos de prova	30
3.5 Produção dos blocos em escala real	31
3.6 Avaliação dos blocos em escala real	33
<i>3.6.1 Requisitos da ABNT NBR 6136</i>	34
<i>3.6.2 Avaliação do desempenho térmico</i>	34
<i>3.6.3 Avaliação da durabilidade por exposição natural</i>	36
3.7 Transferência de tecnologia	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Etapa Piloto	39
<i>4.1.1 Massa específica</i>	39
<i>4.1.2 Velocidade de propagação de pulso ultrassônico</i>	40
<i>4.1.3 Resistência à compressão axial</i>	42
4.2 Produção dos blocos de concreto para vedação em escala real	43
<i>4.2.1 Requisitos da ABNT NBR 6136</i>	45
<i>4.2.2 Condutividade térmica</i>	46
<i>4.2.3 Calor específico</i>	48
4.3 Durabilidade por exposição natural	50

4.4 Resultados da Transferência de Tecnologia	52
5 CONCLUSÃO	54
5.1 Trabalhos futuros	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é reconhecida como um dos setores de maior impacto ambiental, sobretudo em função de sua elevada demanda por recursos naturais, consumo de matérias-primas minerais e utilização intensiva de energia ao longo de sua cadeia produtiva (IEA, 2022; Pacheco-Torgal, 2018). Essa combinação de elevado consumo de recursos e geração de resíduos confere ao setor um papel central na busca por soluções que reduzam impactos ambientais. O setor apresenta papel estratégico na mitigação de impactos ambientais a partir da racionalização do uso de recursos e da incorporação de materiais alternativos.

Assim, a construção civil apresenta capacidade significativa para absorver resíduos de diferentes origens, dada sua elevada demanda por materiais e a flexibilidade tecnológica para incorporação de insumos alternativos, desde que atendidos os requisitos normativos e de desempenho estabelecidos para os produtos finais (Pacheco-Torgal, 2018; Meng; Ling; Mo, 2018). Essa característica torna o setor um importante elo entre políticas de gestão de resíduos sólidos e o desenvolvimento de soluções construtivas ambientalmente mais eficientes.

No Brasil, essa perspectiva é reforçada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece diretrizes voltadas à redução da geração de resíduos, ao incentivo à reutilização, reciclagem e ao tratamento ambientalmente adequado, priorizando a valorização de materiais pós-consumo e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (Brasil, 2022). Assim, os desafios da construção civil articulam-se de forma direta com a problemática da gestão de resíduos sólidos urbanos, especialmente no que se refere à destinação de materiais de difícil degradação ambiental.

Entre os resíduos sólidos urbanos gerados em larga escala, destacam-se os resíduos plásticos, cuja elevada durabilidade e resistência à degradação natural representam um desafio significativo para os sistemas convencionais de disposição final (Plasticseurope, 2022). Por não serem biodegradáveis, esses materiais podem permanecer no ambiente por décadas ou até séculos, dependendo das condições de exposição (Pacheco-Torgal, 2018), acumulando-se em aterros sanitários ou sendo descartados de forma inadequada, o que intensifica seus impactos ambientais e sociais.

Nesse contexto, os resíduos de poliestireno assumem relevância particular. O poliestireno é um polímero amplamente utilizado em embalagens, isolamento térmico e aplicações industriais, sendo comercializado principalmente nas formas de poliestireno expandido (EPS) e poliestireno extrudado (XPS). Embora ambos sejam derivados do mesmo polímero base, diferenciam-se quanto ao processo de fabricação e à estrutura celular

resultante, o que implica variações em propriedades como densidade, absorção de água e resistência mecânica. No entanto, em aplicações cotidianas e em parte da literatura técnica, é comum que esses materiais sejam tratados de forma indistinta, especialmente no caso de embalagens alimentícias. Essa imprecisão pode gerar equívocos quanto às propriedades do resíduo disponível e às suas possibilidades de reaproveitamento em compósitos cimentícios, tornando necessária a correta identificação do material empregado na presente pesquisa (SINGH, 2025).

Diversos estudos têm investigado a incorporação de resíduos poliméricos em matrizes cimentícias, com destaque para aplicações em concretos e argamassas leves, visando à redução da massa específica e à melhoria do desempenho térmico (Assaad; El mir, 2020; Dixit et al., 2019; El gamal et al., 2024). Resíduos plásticos de diferentes naturezas já foram avaliados como substitutos parciais de agregados minerais, evidenciando o potencial da construção civil para absorver esses materiais de forma tecnicamente viável (Pacheco-Torgal, 2018; Meng; Ling; Mo, 2018).

No caso específico do poliestireno, estudos relatam sua aplicação em concretos leves, painéis pré-moldados e outros elementos não estruturais, predominantemente sob a forma de poliestireno expandido (EPS), em função de sua maior disponibilidade comercial e facilidade de processamento, apresentando resultados promissores quanto à redução da massa específica e à melhoria do isolamento térmico (Pavlů et al., 2019; Pacheco-Torgal, 2018). Nos últimos anos, investigações também têm explorado a utilização de resíduos de poliestireno extrudado (XPS) em compósitos cimentícios leves, especialmente em argamassas e materiais termoisolantes, com reduções significativas de densidade e condutividade térmica, ainda que acompanhadas por variações na resistência mecânica em função do teor incorporado (Kobyliński et al., 2021; Kytinou et al., 2024; Metaxa et al., 2025). Entretanto, observa-se que grande parte dessas investigações está direcionada a compósitos moldados convencionalmente ou a componentes industrializados. Assim, observa-se que a literatura não aborda especificamente a aplicação de resíduos de XPS em blocos de concreto pré-moldados destinados à alvenaria de vedação, com foco integrado na avaliação de seu desempenho térmico.

A lacuna identificada torna-se particularmente relevante no contexto das edificações habitacionais, sobretudo aquelas destinadas à habitação de interesse social. A Norma de Desempenho brasileira (ABNT NBR 15575-4, 2021) estabelece requisitos mínimos de desempenho térmico para sistemas de vedações verticais, reforçando a necessidade de desenvolvimento de soluções construtivas que conciliem viabilidade técnica, eficiência

térmica e acessibilidade econômica. Nesse sentido, blocos de concreto para vedação com desempenho térmico aprimorado podem representar uma alternativa estratégica para melhoria do conforto térmico em edificações de baixo custo, especialmente em regiões de clima quente.

Entretanto, a adoção efetiva de materiais alternativos na construção civil não depende apenas de seu desempenho técnico, mas também de estratégias que viabilizem sua disseminação, apropriação e aplicação em contextos reais. Nesse contexto, destaca-se o papel das universidades na promoção da transferência de tecnologia, especialmente quando associada a abordagens de tecnologia social, voltadas à capacitação de comunidades em situação de vulnerabilidade social. Estudos recentes ressaltam que iniciativas de transferência tecnológica bem-sucedidas dependem da adequação sociotécnica das soluções, da capacitação contínua e da participação ativa dos atores locais no processo produtivo (Nogueira et al., 2023).

No estado do Ceará, essa discussão assume contornos práticos a partir do Programa Ceará Sem Fome, instituído pela Lei nº 18.312, de 17 de fevereiro de 2023. O programa estrutura uma rede de cozinhas comunitárias e unidades sociais produtoras de refeições voltadas ao enfrentamento da insegurança alimentar em todo o estado, distribuindo cerca de 130 mil refeições diárias. A operação contínua dessas unidades resulta na geração recorrente de resíduos de embalagens, incluindo materiais à base de poliestireno extrudado (XPS). Esse cenário evidencia a necessidade de soluções de manejo alinhadas às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos, ao mesmo tempo em que possibilita a valorização desse material em cadeias produtivas locais (Ceará, 2023; Brasil, 2022).

Diante desse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de blocos de concreto termicamente eficientes para alvenaria de vedação, com incorporação de resíduos de poliestireno extrudado (XPS), associado a uma estratégia estruturada de transferência tecnológica voltada à sua aplicação em comunidades em situação de vulnerabilidade social. A convergência entre desempenho térmico, valorização de resíduos plásticos e aplicação comunitária configura uma abordagem alinhada às diretrizes contemporâneas de sustentabilidade, inovação e responsabilidade socioambiental no setor da construção civil.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver blocos de concreto termicamente eficientes para alvenaria de vedação, com incorporação de resíduos de poliestireno extrudado (XPS), e promover sua aplicação em comunidades em situação de vulnerabilidade social por meio de uma estratégia estruturada de transferência tecnológica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as proporções de resíduo de poliestireno extrudado (XPS) que permitem a produção de blocos de concreto com desempenho mecânico compatível com aplicações em alvenaria de vedação;
- Avaliar o impacto da incorporação de XPS nas propriedades térmicas dos blocos de concreto, com ênfase na eficiência térmica e no potencial de melhoria do conforto ambiental;
- Analisar a durabilidade dos blocos de concreto com incorporação de XPS quando submetidos a condições ambientais reais, verificando sua estabilidade e desempenho ao longo do tempo;
- Avaliar a viabilidade de um método de produção dos blocos de concreto com XPS compatível com a aplicação comunitária, considerando aspectos técnicos e operacionais;
- Desenvolver e analisar uma estratégia de transferência tecnológica que possibilite a produção e utilização dos blocos de concreto com XPS em comunidades em situação de vulnerabilidade social.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Construção civil e incorporação de resíduos em materiais cimentícios

A incorporação de resíduos em matrizes cimentícias tem sido investigada na literatura como alternativa técnica para substituição parcial de matérias-primas convencionais, com potencial para modificar propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade dos compósitos. A viabilidade dessa incorporação está condicionada ao atendimento dos requisitos normativos e de desempenho estabelecidos para os produtos finais, assegurando qualidade, confiabilidade e adequação ao campo de aplicação (Pacheco-Torgal, 2018).

Estudos indicam que resíduos de origem industrial, agroindustrial e urbana podem atuar como substitutos parciais de agregados ou ligantes em matrizes cimentícias, influenciando propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade dos compósitos (Meng; Ling; Mo, 2018; Corinaldesi; Moriconi, 2009). O desempenho desses materiais depende de características como composição química, granulometria, porosidade, absorção de água, estabilidade volumétrica e qualidade da interface com a matriz cimentícia, fatores que condicionam sua compatibilidade e o comportamento final do compósito.

No contexto de elementos pré-moldados, a literatura indica que os blocos de concreto apresentam interesse particular para a incorporação de materiais alternativos, uma vez que são produzidos por processos de vibrocompactação com concreto de consistência seca e são aplicados, em muitos casos, como componentes não estruturais. Essa condição permite investigar substituições e ajustes de formulação com menor criticidade estrutural quando comparada a elementos portantes, desde que sejam respeitados os limites normativos de resistência à compressão, absorção de água e controle dimensional estabelecidos para o produto (Fernandes, 2013; ABNT NBR 6136, 2016). Assim, a incorporação de resíduos em blocos para alvenaria de vedação tem sido explorada não apenas sob a perspectiva da resistência mecânica, mas também com foco em propriedades funcionais relevantes, como o desempenho térmico.

Apesar dos avanços, a literatura ressalta que a adoção de resíduos em materiais cimentícios exige abordagem integrada, contemplando não apenas o desempenho do material em laboratório, mas também aspectos de viabilidade produtiva, controle de qualidade e replicabilidade do processo em escala (Pacheco-Torgal, 2018). Nesse sentido, estudos recentes apontam que o desenvolvimento de novos compósitos deve ser acompanhado por

estratégias que favoreçam sua implementação em contextos reais, sobretudo quando destinados a soluções construtivas de interesse social, nas quais a simplicidade operacional e a consistência do método de produção são determinantes para a aplicação efetiva.

2.2 Polímeros e resíduos plásticos na construção civil

Os resíduos plásticos têm sido investigados na construção civil como materiais alternativos para incorporação em matrizes cimentícias, principalmente na condição de substitutos parciais de agregados minerais. A literatura aponta que a inclusão desses materiais pode alterar significativamente propriedades físicas e mecânicas do compósito, sendo os efeitos dependentes do tipo de polímero, da morfologia das partículas, do teor de substituição e do método de processamento adotado (Pacheco-Torgal, 2018; Meng; Ling; Mo, 2018).

Do ponto de vista físico, os polímeros apresentam densidade inferior à dos agregados minerais convencionais e, em geral, menor condutividade térmica. Essa combinação de propriedades justifica o interesse em sua aplicação em concretos e argamassas leves, especialmente em elementos não estruturais, nos quais a redução da massa específica e a melhoria do desempenho térmico podem representar vantagens funcionais relevantes (Dixit et al., 2019). Entretanto, a incorporação de resíduos plásticos tende a reduzir a resistência à compressão e a rigidez do material, em razão da menor resistência intrínseca do polímero e da possível fragilidade da zona de transição interfacial (Pacheco-Torgal, 2018).

Estudos indicam que o desempenho mecânico de compósitos contendo resíduos plásticos está diretamente relacionado ao teor de substituição adotado. Teores elevados podem resultar em reduções expressivas de resistência, enquanto teores moderados podem proporcionar equilíbrio entre leveza e desempenho estrutural compatível com aplicações não portantes (Meng; Ling; Mo, 2018). Dessa forma, a definição do teor ótimo de incorporação constitui etapa fundamental no desenvolvimento desses materiais.

No que se refere ao comportamento térmico, a presença de polímeros na matriz cimentícia tende a reduzir a condutividade térmica do compósito, em função da baixa condutividade do material polimérico e do aumento da porosidade interna. Contudo, a diminuição da densidade pode implicar redução da capacidade térmica volumétrica, influenciando a inércia térmica do elemento construtivo. Assim, a avaliação integrada das propriedades mecânicas e térmicas torna-se essencial para definir o campo de aplicação adequado desses compósitos (Incropera et al., 2014; Del coz díaz et al., 2007).

De modo geral, a literatura demonstra que a incorporação de resíduos plásticos em materiais cimentícios apresenta viabilidade técnica condicionada ao controle do teor de substituição, à caracterização adequada do resíduo e ao atendimento dos requisitos normativos pertinentes ao tipo de elemento construtivo considerado.

2.3 Poliestireno em matrizes cimentícias

O poliestireno tem sido investigado como agregado leve em matrizes cimentícias devido à sua baixa densidade e reduzida condutividade térmica. A literatura concentra-se majoritariamente no uso de poliestireno expandido (EPS), tradicionalmente empregado na produção de concretos leves e comercializado na forma de pérolas, o que facilita sua incorporação como agregado. Embora o poliestireno extrudado (XPS) também seja utilizado em embalagens alimentícias e como isolante térmico, sua aplicação como substituto granular de agregados ainda é menos explorada. Essa menor recorrência pode estar associada à menor tradição técnica de uso do XPS em compósitos cimentícios e à frequente ausência de distinção clara entre EPS e XPS na literatura (Pacheco-Torgal, 2018; Kobyliński et al., 2021; Singh, 2025).

A substituição volumétrica de agregados minerais por partículas de poliestireno resulta em redução significativa da massa específica dos compósitos. Trabalhos experimentais reportam diminuições da ordem de 10% a 40% para teores de substituição situados entre aproximadamente 10% e 50%, dependendo da granulometria do polímero e da formulação adotada (Chen; Liu, 2004; Dixit et al., 2019; Pavlů et al., 2019). Esse comportamento decorre do baixo peso específico do material polimérico e da alteração da estrutura porosa do compósito.

Entretanto, a redução de densidade é acompanhada por decréscimo na resistência à compressão. Resultados da literatura indicam quedas que podem variar entre 20% e 60% para teores elevados de substituição, sendo esse efeito influenciado pela distribuição das partículas e pela qualidade da zona de transição interfacial entre o poliestireno e a matriz cimentícia (Bai et al., 2019; Cui et al., 2016; Rad; Fallahi, 2019). A resposta mecânica tende a apresentar comportamento não linear em função do teor incorporado, evidenciando a necessidade de definição criteriosa do percentual de substituição para aplicações não estruturais. No que se refere ao desempenho térmico, a incorporação de poliestireno promove reduções expressivas na condutividade térmica do compósito, com variações reportadas entre 15% e 60%,

associadas à baixa condutividade intrínseca do polímero e ao aumento da fração de vazios internos (Sayadi et al., 2016; Hu et al., 2019).

Embora existam evidências consistentes sobre o comportamento de compósitos contendo poliestireno expandido, observa-se menor número de investigações voltadas especificamente ao uso de resíduos de poliestireno extrudado em blocos de concreto produzidos por vibrocompactação. A literatura concentra-se majoritariamente em argamassas e concretos moldados convencionalmente, o que indica lacuna relacionada à aplicação em elementos pré-moldados destinados à alvenaria de vedação, particularmente sob a perspectiva integrada de desempenho mecânico e térmico.

2.4 Blocos de concreto para alvenaria de vedação

Os blocos vazados de concreto constituem um dos principais sistemas empregados na execução de alvenarias no Brasil, podendo ser utilizados com ou sem função estrutural, conforme requisitos de projeto e resistência característica à compressão estabelecidos normativamente (ABNT NBR 6136, 2016). A distinção entre blocos estruturais e de vedação está associada às exigências de desempenho mecânico e não à natureza do processo produtivo.

Na aplicação como alvenaria de vedação, os blocos exercem função de compartimentação e fechamento da envoltória da edificação, não sendo responsáveis pela transmissão de cargas estruturais relevantes. Nessa condição, devem atender aos requisitos mínimos de resistência à compressão, absorção de água e controle dimensional definidos pela ABNT NBR 6136 (2016), assegurando desempenho compatível com sua função não portante.

A produção de blocos de concreto é realizada, em geral, com concreto de consistência seca submetido à vibrocompactação. Esse processo difere do concreto plástico moldado convencionalmente, uma vez que a consolidação ocorre por meio da ação combinada de vibração e prensagem mecânica, com baixa relação água/cimento e reduzida trabalhabilidade (Fernandes, 2013). As características do processo produtivo influenciam diretamente a porosidade final, a resistência mecânica e a estabilidade dimensional do bloco.

Quando inseridos na envoltória da edificação, os blocos de vedação contribuem para o comportamento térmico do sistema construtivo, uma vez que suas propriedades físicas e geométricas interferem no fluxo de calor através das paredes externas (ABNT NBR 15575-4, 2021; Incropera et al., 2014). Dessa forma, modificações na composição do concreto, como a incorporação de agregados leves ou resíduos poliméricos, podem alterar simultaneamente o desempenho mecânico e térmico do elemento.

A utilização de materiais alternativos na produção de blocos para vedação requer, portanto, compatibilidade com o processo de vibrocompactação e atendimento aos requisitos normativos aplicáveis ao produto final. Assim, a avaliação integrada das propriedades físicas, mecânicas e térmicas torna-se fundamental para verificar a adequação técnica desses blocos ao seu campo de aplicação.

2.5 Desempenho térmico de elementos de vedação

O desempenho térmico das edificações está associado à capacidade do sistema construtivo de atenuar as variações de temperatura externa e contribuir para condições adequadas de conforto térmico no ambiente interno (ABNT NBR 15575-4, 2021). Esse desempenho depende de fatores como características climáticas locais, orientação da edificação, ventilação natural e propriedades térmicas dos materiais empregados na envoltória (Incropera et al., 2014).

A transferência de calor através dos elementos construtivos ocorre principalmente por condução, sendo influenciada pela condutividade térmica dos materiais e pela espessura dos componentes da parede (Del coz díaz et al., 2007). Além da condutividade térmica, a capacidade térmica volumétrica é um parâmetro determinante no comportamento térmico do sistema, pois está relacionada ao armazenamento de energia por unidade de volume e à redução da amplitude das variações de temperatura no interior do ambiente (Incropera et al., 2014).

O mecanismo de condução térmica em elementos maciços pode ser descrito pela Lei de Fourier, segundo a qual o fluxo de calor através de um material sólido homogêneo é proporcional ao gradiente de temperatura e à condutividade térmica do material. Em regime unidimensional, o fluxo térmico pode ser expresso como função da condutividade térmica (λ), da área de transferência e da espessura do elemento, evidenciando que materiais com menor valor de λ apresentam maior resistência à condução de calor (Incropera et al., 2014). A resistência térmica de um elemento plano homogêneo pode ser representada pela razão entre sua espessura e a condutividade térmica do material ($R = L/\lambda$), reforçando a importância desse parâmetro na análise do desempenho térmico de sistemas de vedação.

No contexto das edificações habitacionais brasileiras, a ABNT NBR 15575-4 (2021) estabelece critérios mínimos de desempenho térmico para sistemas de vedação vertical, considerando as diferentes zonas bioclimáticas do país e limites de temperatura interna admissíveis. A norma enfatiza que o atendimento aos requisitos de desempenho deve

considerar o sistema construtivo como um todo, incluindo os materiais que compõem as paredes externas.

As paredes constituem parcela significativa da área da envoltória e exercem influência direta no balanço térmico da edificação, especialmente em tipologias construtivas padronizadas e de interesse social (ABNT NBR 15575-4, 2021). Entre os sistemas mais utilizados, destacam-se as alvenarias executadas com blocos de concreto, cujas propriedades físicas e geométricas interferem no fluxo de calor através do elemento construtivo (Fernandes, 2013).

A redução da condutividade térmica dos materiais empregados na parede pode contribuir para a diminuição da transmissão de calor por condução, enquanto a massa do elemento influencia sua capacidade de amortecer oscilações térmicas ao longo do dia (Incropera et al., 2014). Dessa forma, a avaliação das propriedades térmicas dos blocos de concreto torna-se relevante quando se busca conciliar desempenho mecânico, eficiência térmica e atendimento aos critérios normativos estabelecidos para edificações habitacionais (ABNT NBR 15575-4, 2021).

2.6 Programas sociais, resíduos e transferência de tecnologia na construção civil

Programas sociais voltados à segurança alimentar e ao enfrentamento da vulnerabilidade socioeconômica constituem instrumentos relevantes de política pública no Brasil, especialmente em contextos urbanos marcados por desigualdades estruturais (Brasil, 2022). Essas iniciativas envolvem a produção e distribuição diária de refeições em larga escala, o que resulta na geração contínua de resíduos sólidos urbanos associados ao acondicionamento e transporte dos alimentos.

No caso das Unidades Sociais Produtoras de Refeições (USPR), vinculadas ao Programa Ceará Sem Fome, o programa conta com aproximadamente 1.300 cozinhas distribuídas pelo estado. Cada unidade possui capacidade de produção de cerca de 100 refeições por dia, ampliando o alcance territorial da política pública junto às populações em situação de vulnerabilidade (Ceará, 2023). As refeições são distribuídas em embalagens descartáveis, frequentemente produzidas à base de poliestireno extrudado, material selecionado por sua leveza e capacidade de isolamento térmico.

A geração sistemática dessas embalagens impõe desafios relacionados ao gerenciamento de resíduos em escala local, demandando soluções que conciliem os objetivos sociais do programa com práticas ambientalmente responsáveis. Nesse contexto, a inserção

desses materiais em cadeias produtivas estruturadas pode representar alternativa técnica consistente, desde que observadas as especificidades operacionais das comunidades envolvidas.

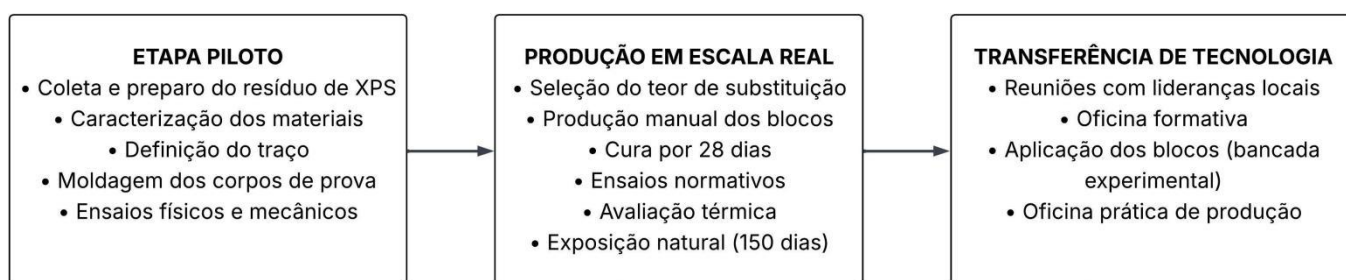
A literatura sobre tecnologias sociais enfatiza que a transferência tecnológica eficaz requer adequação sociotécnica, capacitação contínua e compatibilidade entre a solução proposta e a realidade produtiva local (Nogueira et al., 2023). No âmbito da construção civil, a adaptação de técnicas construtivas para contextos comunitários pressupõe simplificação de procedimentos, mecanismos acessíveis de controle de qualidade e alinhamento aos requisitos normativos, assegurando desempenho técnico sem comprometer a viabilidade operacional.

Sob essa perspectiva, o aproveitamento de resíduos poliméricos na produção de elementos construtivos pode assumir caráter estratégico quando integrado a modelos formais de transferência tecnológica. A consolidação dessa abordagem depende da validação técnica do material desenvolvido e da estruturação de um processo produtivo compatível com o contexto social em que será aplicado.

3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa compreendeu desde a caracterização dos materiais constituintes até a avaliação do desempenho dos blocos de concreto produzidos com incorporação de resíduos de poliestireno extrudado (XPS), incluindo a etapa de transferência tecnológica. A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas metodológicas adotadas. Na etapa piloto foram definidos os traços com diferentes teores de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS, sendo avaliadas as propriedades físicas e mecânicas do concreto. Com base nos resultados obtidos, foi selecionado um traço para produção em escala real, cujos blocos foram analisados quanto aos requisitos normativos, desempenho térmico e comportamento sob exposição natural. Após a validação técnica, foram conduzidas as ações de transferência tecnológica junto à comunidade parceira.

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.



Fonte: Autor (2026).

3.1 Materiais

Foram utilizados na pesquisa cimento Portland CP V-ARI, agregado miúdo natural (areia quartzosa), agregado graúdo (brita 0), resíduo de poliestireno extrudado (XPS) e água. O cimento empregado foi do tipo CP V-ARI, devido a sua alta resistência inicial, característica que favorece a desmoldagem precoce e a aplicação em elementos pré-moldados produzidos com concreto do tipo seco. O cimento foi utilizado conforme fornecimento comercial. O agregado miúdo consistiu em areia quartzosa de rio, armazenada em local coberto previamente à utilização. Como agregado graúdo convencional foi empregada brita 0, utilizada como material de referência. A água utilizada na preparação das misturas foi proveniente da rede de abastecimento local.

O resíduo polimérico utilizado consistiu em embalagens pós-consumo de poliestireno extrudado (XPS), provenientes de unidades sociais produtoras de refeições vinculadas ao Programa Ceará Sem Fome. A coleta ocorreu nas próprias unidades, onde os beneficiários devolviam as embalagens após o consumo, realizando previamente o enxágue. Nas cozinhas, as embalagens passavam por inspeção visual, remoção manual de resíduos orgânicos remanescentes e lavagem complementar com água corrente, caso houvesse necessidade, seguida de secagem ao ar em ambiente coberto e ventilado.

A fragmentação foi realizada nas próprias unidades por meio de forrageira de facas adaptada, promovendo a redução volumétrica e a obtenção de partículas poliméricas. Após a trituração, o material destinado à pesquisa foi acondicionado em sacos plásticos, armazenado em local seco e posteriormente transportado até o local de execução dos ensaios. A Figura 2 apresenta o material após o processamento.

Figura 2 – Resíduo de poliestireno extrudado triturado, proveniente da cozinha comunitária.



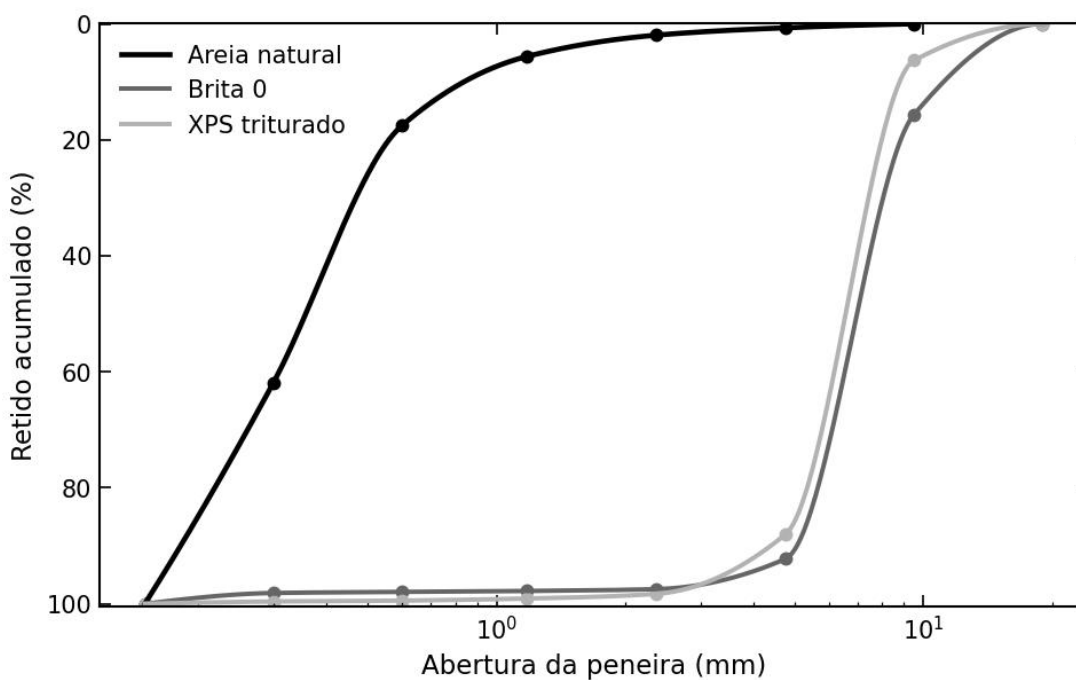
Fonte: Autor (2026).

3.2 Caracterização dos Materiais

A caracterização física dos agregados e do resíduo de poliestireno extrudado (XPS) foi realizada com o objetivo de subsidiar a definição dos traços e garantir a compatibilidade granulométrica entre os materiais empregados.

A análise granulométrica do agregado miúdo, do agregado graúdo e do resíduo de XPS triturado foi conduzida conforme os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 17054. A partir dos resultados obtidos, foram determinados o módulo de finura (MF) e a dimensão máxima característica (DMC) de cada material. A Figura 3 apresenta as curvas granulométricas dos materiais avaliados.

Figura 3 – Curvas granulométricas do agregado miúdo, agregado graúdo e resíduo de XPS.



Fonte: Autor (2026).

As massas específicas dos materiais foram determinadas conforme a ABNT NBR 16916 e 16917, quando aplicável, e as massas unitárias conforme a ABNT NBR 16972. Os valores obtidos para módulo de finura, DMC, massa específica e massa unitária são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização física dos materiais utilizados na etapa piloto.

Material	Módulo de Finura (MF)	DMC (mm)	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Unitária (kg/m ³)
Areia natural	1,83	2,36	2,62	1538,01
Brita 0	5,98	19	2,62	1437,07
XPS Triturado	5,92	19	-	15,55

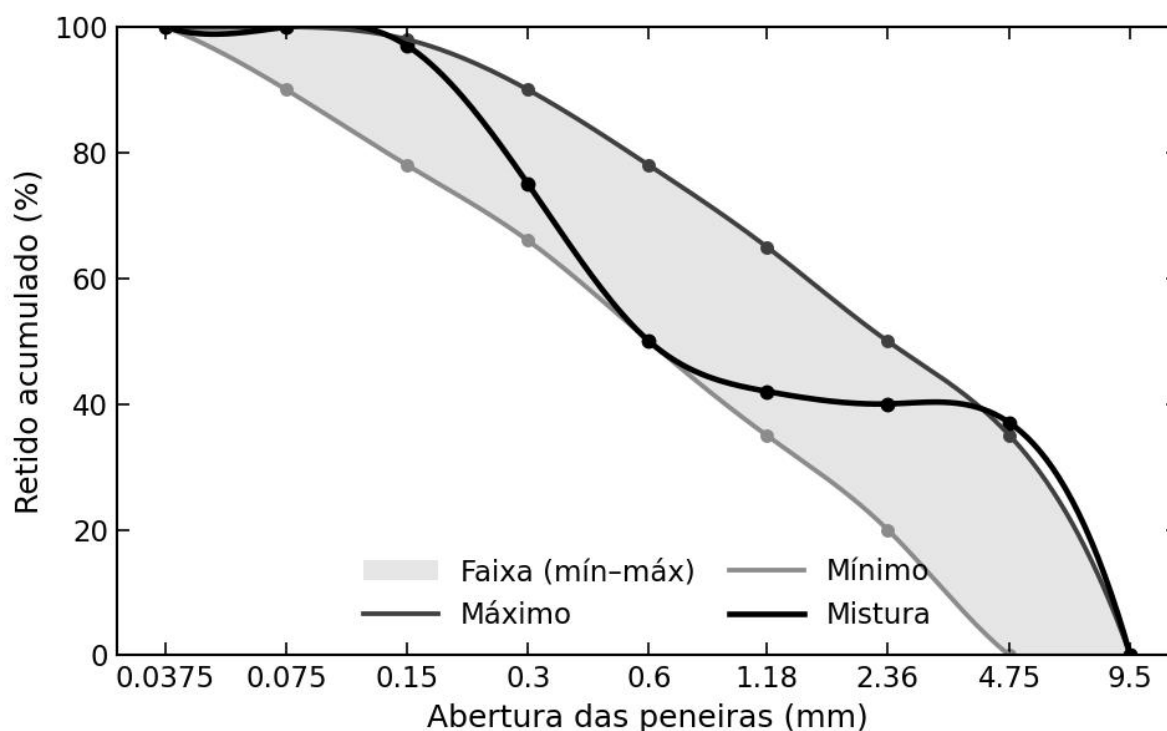
Fonte: Autor (2026).

3.3 Definição dos traços na etapa piloto

A definição do traço de referência foi fundamentada nas diretrizes apresentadas por Fernandes (2013) para a produção manual de blocos de concreto com concreto seco. Para isso foi elaborada a curva granulométrica da mistura de agregados baseada no princípio da compatibilidade granulométrica entre as frações fina e graúda, conforme discutido por Fernandes (2013), que considera que a adequada distribuição de tamanhos de partículas favorece o melhor empacotamento do sistema granular, reduzindo vazios e contribuindo para a estabilidade do concreto seco submetido à compactação.

Devido às características dos materiais, a proporção de 60% de areia e 40% de brita 0, apresentou o melhor enquadramento entre os limites mínimo e máximo recomendados por Fernandes (2013) para concreto seco destinado à fabricação de blocos. A Figura 4 apresenta a curva granulométrica da mistura de referência em comparação com a faixa recomendada.

Figura 4 – Curva granulométrica da mistura dos agregados em comparação com a faixa recomendada para concreto seco.



Fonte: adaptado de Fernandes (2013).

A partir da granulometria total dos agregados foi estabelecido um traço inicial sem incorporação de XPS, expresso em termos proporcionais por massa como 1:3,02:2,02 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo). Esse traço serviu como base para a etapa piloto da pesquisa.

Mantendo-se constante a proporção entre cimento e agregado miúdo, a substituição do agregado graúdo convencional por resíduo de XPS foi realizada em termos volumétricos, considerando as diferenças de massa específica entre os materiais. Após a incorporação do XPS, não foi realizada nova recomposição granulométrica da mistura, tendo em vista que o material apresenta uma curva granulométrica significativamente similar ao agregado graúdo convencional (como indicado na Figura 3).

Foram avaliados quatro teores de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS: 25%, 30%, 35% e 40%, além do traço de referência sem incorporação do resíduo. A definição desse intervalo foi orientada por estudos que reportam reduções progressivas de resistência mecânica em compósitos cimentícios com agregados poliméricos leves à medida que se eleva o teor incorporado (Pacheco-Torgal, 2018; Sayadi et al., 2016). O limite inferior de 25% foi adotado por representar fração volumétrica capaz de produzir alteração

significativa nas propriedades do material, enquanto o limite superior de 40% foi definido como valor preliminarmente compatível com a manutenção da integridade mecânica do concreto seco. A Tabela 2 apresenta as proporções dos materiais empregadas na etapa piloto.

Tabela 2 – Traços avaliados na etapa piloto (proporções dos agregados expressas em massa; substituição do agregado graúdo por XPS realizada em termos volumétricos).

Traço	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	XPS	(a/c)
T0	1	3,02	2,02	0,0	0,36
T25	1	3,02	1,51	0,0054 (25% vol.)	0,34
T30	1	3,02	1,41	0,0065 (30% vol.)	0,34
T35	1	3,02	1,31	0,0075 (35% vol.)	0,33
T40	1	3,02	1,21	0,0085 (40% vol.)	0,33

Fonte: Autor (2026).

A definição da relação água/cimento foi fundamentada em ensaio de compactação realizado conforme a ABNT NBR 12023. Foram executados ensaios para o traço de referência (0%), bem como para as composições com 25% e 40% de substituição volumétrica por XPS, permitindo a determinação da umidade correspondente à máxima massa específica aparente seca em cada caso.

Com base nesses resultados, foi adotada interpolação linear entre os valores experimentais de umidade ótima obtidos para 25% e 40% de substituição, a fim de estimar os teores correspondentes aos traços intermediários, sendo os teores de água das composições intermediárias (30% e 35%) definidos a partir desse critério.

3.4 Etapa piloto: moldagem e ensaios dos corpos de prova

A preparação das misturas foi realizada manualmente, obedecendo ordem padronizada de incorporação dos materiais. Inicialmente, o cimento Portland CP V-ARI foi homogeneizado com a areia seca. Em seguida, o resíduo de XPS triturado foi incorporado à mistura, seguido da adição da brita 0. Após a homogeneização dos materiais secos, a água de amassamento foi adicionada gradualmente, mantendo-se a mistura manual até obtenção da consistência característica de concreto seco.

A moldagem dos corpos de prova foi realizada em moldes cilíndricos metálicos com dimensões nominais de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, conforme a ABNT NBR 5738:2016. Para cada composição foram moldados quatro corpos de prova, totalizando 20 unidades distribuídas entre os cinco níveis de substituição volumétrica avaliados: 0%, 25%, 30%, 35% e 40%. O preenchimento dos moldes foi realizado em duas camadas sucessivas, sendo cada camada submetida a 26 golpes de compactação com haste metálica cilíndrica com diâmetro de 50 mm e massa de 2,5 kg, distribuídos uniformemente sobre a superfície, conforme procedimento adaptado da ABNT NBR 12023:2012 para solo-cimento. A superfície superior foi regularizada manualmente e os corpos permaneceram nos moldes por 24 horas em ambiente coberto e protegido.

Após esse período, os corpos de prova foram desmoldados e submetidos à cura por imersão em água potável, à temperatura ambiente, pelo período de sete dias. A escolha dessa idade de ensaio está associada ao uso do cimento CP V-ARI, classificado como cimento de alta resistência inicial conforme a ABNT NBR 16697, o qual apresenta desenvolvimento acelerado de resistência nas primeiras idades, atingindo parcela significativa de sua resistência característica antes dos 28 dias. Antes da realização do ensaio de compressão, as extremidades dos corpos foram regularizadas por meio de capeamento com enxofre fundido, garantindo superfícies planas e paralelas.

A determinação da massa específica aparente e da massa específica da amostra seca foi realizada conforme a ABNT NBR 9778, utilizando balança digital Marte com resolução de 0,01 g. A velocidade de propagação de pulso ultrassônico foi determinada conforme a ABNT NBR 8802, utilizando equipamento Pundit PL-200, com posicionamento dos transdutores em faces opostas dos corpos de prova. O ensaio de resistência à compressão axial foi conduzido conforme a ABNT NBR 5739, utilizando máquina universal de ensaios DL-3000 (EMIC), equipada com célula de carga de 300 kN, com velocidade de carregamento de 0,45 MPa/s até a ruptura.

3.5 Produção dos blocos em escala real

Para a produção dos blocos em escala real, foi selecionado apenas um traço com substituição parcial do agregado graúdo convencional por resíduo de XPS. A adoção de um único traço nesta etapa decorreu da necessidade de otimização dos recursos laboratoriais e operacionais disponíveis. A definição do teor incorporado baseou-se nos resultados obtidos na etapa piloto, considerando como critérios o equilíbrio entre desempenho mecânico, redução

de massa específica e viabilidade de moldagem manual. Optou-se pelo maior teor que, na etapa preliminar, apresentou comportamento tecnicamente satisfatório, com o objetivo de maximizar a incorporação do resíduo sem comprometer a integridade do material.

Os blocos foram moldados com dimensões nominais de 140 mm × 190 mm × 390 mm, compatíveis com blocos vazados de concreto para alvenaria, conforme estabelecido na ABNT NBR 6136. O enquadramento adotado foi de classe C, destinada à aplicação em alvenaria sem função estrutural, coerente com a proposta de vedação e com a possibilidade de produção em cenários de menor custo de implementação.

A mistura foi realizada em betoneira de eixo inclinado com capacidade nominal de 120 L. Inicialmente foram incorporados cimento e areia, promovendo-se homogeneização por aproximadamente 1 minuto. Em seguida adicionou-se o resíduo de XPS triturado e posteriormente a brita 0, mantendo-se a mistura por mais 1 minuto. A água foi adicionada gradualmente, mantendo-se a mistura por cerca de 2 minutos adicionais, totalizando aproximadamente 4 minutos de mistura por batelada.

Durante as primeiras moldagens observou-se que a relação água/cimento estimada a partir da etapa piloto resultava em mistura com coesão insuficiente no momento da desmoldagem, ocasionando perdas nas arestas do bloco. Assim, foram realizados ajustes graduais até atingir relação água/cimento final de 0,43, valor que assegurou integridade geométrica após a retirada do molde. Esse valor foi mantido constante em todos os blocos produzidos, assegurando a uniformidade das condições de moldagem e a comparabilidade dos resultados obtidos nos ensaios subsequentes.

A moldagem foi realizada manualmente em fôrma metálica individual. O preenchimento foi seguido de adensamento inicial por cinco batidas da fôrma contra o solo para acomodação preliminar da mistura. Em seguida, procedeu-se à compactação manual utilizando peso padrão de concreto de 4,5 kg, acionado com marreta de borracha. O procedimento de compactação foi padronizado após testes preliminares, sendo aplicado o seguinte esquema: dez golpes na região central do molde, dez golpes no lado direito e dez golpes no lado esquerdo, finalizando-se com cinco golpes adicionais na região central. Quando necessário, realizou-se complemento de material, repetindo-se o mesmo padrão de golpes até completo preenchimento da fôrma. Esse procedimento foi definido por proporcionar melhor acabamento superficial e reduzir ocorrência de fissuras ou desagregações nas arestas após a desmoldagem.

Após a compactação, os blocos foram imediatamente desmoldados e mantidos em repouso inicial por aproximadamente 24 horas em superfície plana, protegidos da ação direta

do sol. Posteriormente, foram cobertos com lona plástica e submetidos à molhagem diária com água, permanecendo em processo de cura por 28 dias antes da realização dos ensaios, período adotado por corresponder à idade de referência para avaliação das propriedades mecânicas do concreto, conforme prática normativa consolidada. A Figura 5 apresenta o processo de produção dos blocos em escala real.

Figura 5 – Etapas da produção dos blocos de concreto em escala real.

(a) Moldagem dos blocos em fôrmas



(b) Compactação e acabamento superficial



(c) Desmoldagem e cura inicial dos blocos



Fonte: Autor (2026).

3.6 Avaliação dos blocos em escala real

Após o período de cura de 28 dias, os blocos produzidos foram submetidos à avaliação experimental. Os ensaios foram organizados em três grupos: (i) verificação dos requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 6136 para blocos de concreto classe C; (ii) avaliação do desempenho térmico; e (iii) análise da durabilidade por exposição natural.

A divisão adotada buscou contemplar, de forma integrada, os aspectos normativos mínimos exigidos para aplicação em alvenaria de vedação, bem como propriedades físicas complementares relacionadas ao desempenho térmico e à estabilidade do material em condições ambientais reais. Todos os blocos utilizados nos ensaios foram provenientes do mesmo lote de produção, assegurando uniformidade das condições de moldagem, adensamento e cura.

Os procedimentos experimentais foram conduzidos em laboratório, utilizando equipamentos adequados e seguindo as prescrições normativas aplicáveis a cada ensaio, conforme descrito nos itens subsequentes.

3.6.1 Requisitos da ABNT NBR 6136

A verificação dos requisitos normativos foi realizada conforme a ABNT NBR 6136, por meio dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água. Foram ensaiados cinco blocos para determinação da resistência à compressão e três blocos para determinação da absorção de água, todos provenientes do mesmo lote de produção e após 28 dias de cura. Antes da realização do ensaio de compressão, foi verificada a condição de umidade dos blocos, conforme prescrito na ABNT NBR 12118 e na ABNT NBR 6136, assegurando que os elementos se encontravam em estado compatível com as condições normativas de ensaio.

As faces de apoio dos blocos foram regularizadas por meio de capeamento com argamassa, conforme procedimento previsto na ABNT NBR 12118, garantindo paralelismo e adequada distribuição das tensões durante a aplicação da carga. Os ensaios foram realizados em máquina universal de ensaios EMIC DL-3000, equipada com célula de carga de 300 kN, com velocidade de carregamento contínua e controlada à taxa de de 0,05 MPa/s até a ruptura do bloco. A resistência foi calculada considerando a área bruta do elemento, conforme prescrição normativa.

Para o ensaio de absorção de água, os blocos foram inicialmente secos em estufa até massa constante, resfriados à temperatura ambiente e pesados para obtenção da massa seca. Em seguida, foram imersos em água por 24 horas, conforme estabelecido na ABNT NBR 12118, sendo posteriormente determinada a massa saturada. A absorção foi determinada pela expressão normativa que relaciona a diferença entre a massa saturada e a massa seca à massa seca, expressa em porcentagem.

3.6.2 Avaliação do desempenho térmico

A avaliação do desempenho térmico dos blocos produzidos foi realizada por meio de ensaios experimentais fundamentados nos princípios da transferência de calor por condução e na conservação de energia térmica.

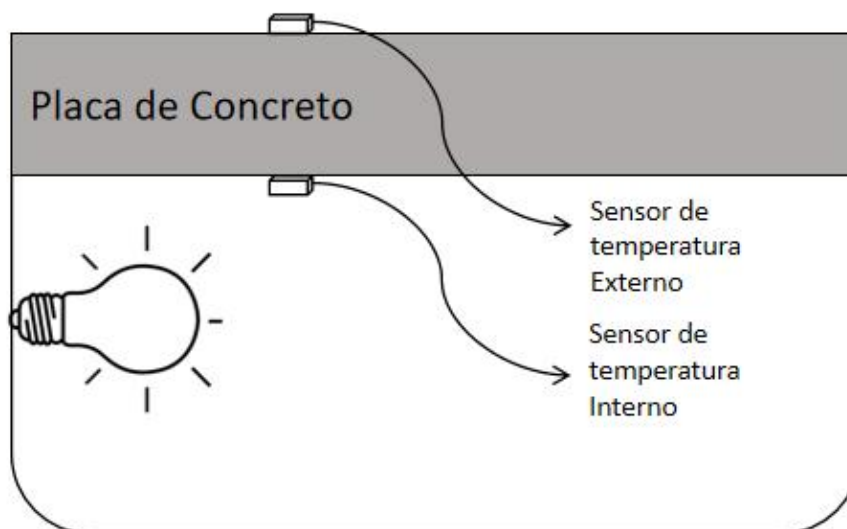
Para o ensaio de condutividade térmica, foram utilizadas placas com dimensões de 200 mm × 200 mm × 20 mm, cortadas a partir dos blocos curados aos 28 dias utilizando serra

mármore elétrica portátil com disco, garantindo superfícies planas e espessura uniforme. As placas foram preparadas tanto do traço de referência quanto para o traço com incorporação de XPS, permitindo comparação direta entre as composições.

O ensaio foi conduzido em arranjo experimental composto por câmara térmica confeccionada em material isolante (isopor), no interior da qual foi posicionada uma lâmpada incandescente de 42 W, utilizada como fonte de calor. A placa de concreto foi posicionada na abertura superior da câmara, funcionando como elemento separador entre o ambiente aquecido e o meio externo, estabelecendo fluxo térmico predominantemente unidimensional através de sua espessura. Para minimizar perdas térmicas laterais, o conjunto foi inserido em caixa adicional de isolamento térmico, devidamente vedada durante o ensaio.

Sensores de temperatura foram instalados nas faces interna e externa da placa, permitindo o monitoramento contínuo da diferença de temperatura entre as superfícies. O aquecimento foi mantido até estabilização do gradiente térmico, caracterizando condição próxima ao regime estacionário. A condutividade térmica do material foi determinada com base na Lei de Fourier para condução unidimensional, considerando a espessura da placa (0,02 m), a área transversal de transferência de calor (0,04 m²), a diferença de temperatura entre as faces e o fluxo térmico associado à potência nominal da fonte de calor, assumindo perdas laterais reduzidas pelo sistema de isolamento adotado. A Figura 6 apresenta esquema do procedimento experimental adotado para esse ensaio.

Figura 6 – Procedimento experimental adotado para a determinação da condutividade térmica.



Complementarmente, foi realizado ensaio para determinação do calor específico dos materiais. Para esse procedimento, foram utilizados fragmentos obtidos a partir das placas empregadas no ensaio de condutividade térmica. As amostras foram inicialmente pesadas em balança de precisão e, em seguida, aquecidas por imersão em água a temperatura próxima de 98 °C por período de 10 minutos, garantindo uniformização térmica. Paralelamente, foi preparado recipiente contendo 150 g de água à temperatura ambiente, cuja temperatura inicial foi registrada.

Após o aquecimento, a amostra foi rapidamente transferida para o recipiente contendo água à temperatura ambiente, mantendo-se o sistema em repouso até o estabelecimento do equilíbrio térmico, quando a temperatura final foi registrada. O cálculo do calor específico da amostra foi realizado com base no princípio da conservação de energia, assumindo sistema termicamente isolado e desprezando perdas térmicas para o meio externo. Considerou-se que o calor cedido pela amostra aquecida foi integralmente absorvido pela água, sendo o valor determinado a partir das massas da amostra e da água, do calor específico conhecido da água e das temperaturas iniciais e final de equilíbrio do sistema. A Figura 7 apresenta as principais etapas do procedimento experimental adotado.

Figura 7 – Procedimento experimental adotado para a determinação do calor específico das amostras de concreto.



Fonte: Autor (2026).

3.6.3 Avaliação da durabilidade por exposição natural

A durabilidade dos blocos foi avaliada por meio de ensaio de exposição natural com duração de aproximadamente 150 dias, utilizando os elementos produzidos em escala real na

construção de uma parede experimental. Considerando que os blocos produzidos são classificados como classe C e destinados à alvenaria sem função estrutural, a parede construída esteve submetida apenas às ações de peso próprio, de modo que a própria execução já representou uma condição de solicitação compatível com a aplicação prevista.

A parede experimental foi executada em ambiente externo no município de Russas-CE, utilizando blocos provenientes do mesmo lote empregado nos ensaios anteriores. A alvenaria foi composta por quatro fiadas, com comprimento equivalente a um bloco e meio por fiada, resultando em dimensões aproximadas de 0,60 m de comprimento e 0,80 m de altura, considerando as juntas de argamassa. O assentamento foi realizado com argamassa industrializada pronta para uso, aplicada conforme prática usual de alvenaria de vedação, sem qualquer tratamento ou proteção superficial adicional.

Durante o período de exposição, a parede permaneceu submetida diretamente às condições climáticas locais, incluindo variações de temperatura, incidência de radiação solar e precipitação pluviométrica características do clima semiárido da região. O município de Russas-CE apresenta elevadas amplitudes térmicas diárias e regime pluviométrico sazonal, características típicas do clima semiárido, favorecendo ciclos naturais de aquecimento/resfriamento e umedecimento/secagem que podem influenciar o comportamento de materiais cimentícios expostos.

Foram realizados registros fotográficos ao longo do período de exposição, com foco na identificação de manifestações patológicas visíveis, tais como fissuração, desagregação superficial, destacamento de partículas, alteração de coloração ou perda de integridade geométrica. A avaliação adotada teve caráter qualitativo e observacional, não sendo empregados métodos acelerados ou ensaios normatizados de durabilidade, uma vez que o objetivo consistiu em verificar o comportamento do material em condições reais de uso.

3.7 Transferência de tecnologia

A etapa de transferência de tecnologia integrou a metodologia da pesquisa e foi realizada somente após a conclusão das análises técnicas dos blocos em escala real. A socialização da tecnologia ocorreu, portanto, após a validação do desempenho do material, assegurando que o conhecimento compartilhado estivesse tecnicamente consolidado.

A concepção dessa etapa metodológica foi fundamentada em abordagens de desenvolvimento comunitário baseadas na aplicação prática do conhecimento técnico como instrumento de mitigação de impactos socioeconômicos, conforme discutido por Nogueira *et*

al. (2023), que defendem a articulação entre universidade, organizações locais e comunidades como estratégia de fortalecimento produtivo e geração de valor social. Assim, adotou-se metodologia análoga, estruturada no diálogo prévio com as lideranças locais e na construção participativa das atividades.

A definição da comunidade ocorreu por meio de articulação com um Instituto sem fins lucrativos, responsável pela gestão de algumas Unidades Sociais Produtoras de Refeição (USPR) vinculadas ao Programa Ceará Sem Fome. A escolha do distrito de Córrego dos Fernandes, no município de Aracati-CE, para realização da transferência de tecnologia foi realizada pelo Instituto, considerando o perfil do público atendido e o potencial de integração da proposta à realidade local.

Previamente à execução das oficinas, foram realizadas três reuniões on-line com a direção do Instituto, com o objetivo de alinhar expectativas, definir o público-alvo, estabelecer a metodologia das atividades e organizar aspectos logísticos. Durante esses encontros, foram discutidas as demandas específicas da comunidade, a disponibilidade de infraestrutura e os conhecimentos prévios dos participantes acerca do manejo do resíduo, permitindo a adaptação do conteúdo técnico à realidade local.

Essa etapa de planejamento buscou assegurar uma abordagem dialógica, fundamentada no intercâmbio de saberes entre universidade e comunidade, valorizando as práticas já existentes nas unidades e evitando uma transferência verticalizada de conhecimento. Dessa forma, as oficinas foram estruturadas de modo participativo, estimulando a troca de experiências e a construção conjunta de soluções para o reaproveitamento do material. Foram realizadas duas oficinas presenciais na própria USPR do Córrego dos Fernandes, estruturadas em três momentos: apresentação e levantamento de expectativas, exposição teórica dos fundamentos técnicos do bloco de concreto e da reutilização do XPS, e atividade prática demonstrativa do processo de fabricação dos blocos. A organização metodológica buscou promover troca de saberes e apropriação comunitária da tecnologia, em consonância com princípios de extensão tecnológica participativa.

A inclusão desta etapa reforça o caráter aplicado da pesquisa ao estabelecer a articulação entre validação técnica e aplicação prática em contexto comunitário real. A abordagem adotada, fundamentada em metodologia participativa análoga à discutida por Nogueira et al. (2023), permitiu integrar produção científica, diálogo institucional e engajamento local. Essa estratégia contribui para a disseminação de práticas construtivas sustentáveis, para o estímulo ao reaproveitamento de resíduos sólidos no âmbito da construção civil e para o fortalecimento de iniciativas comunitárias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

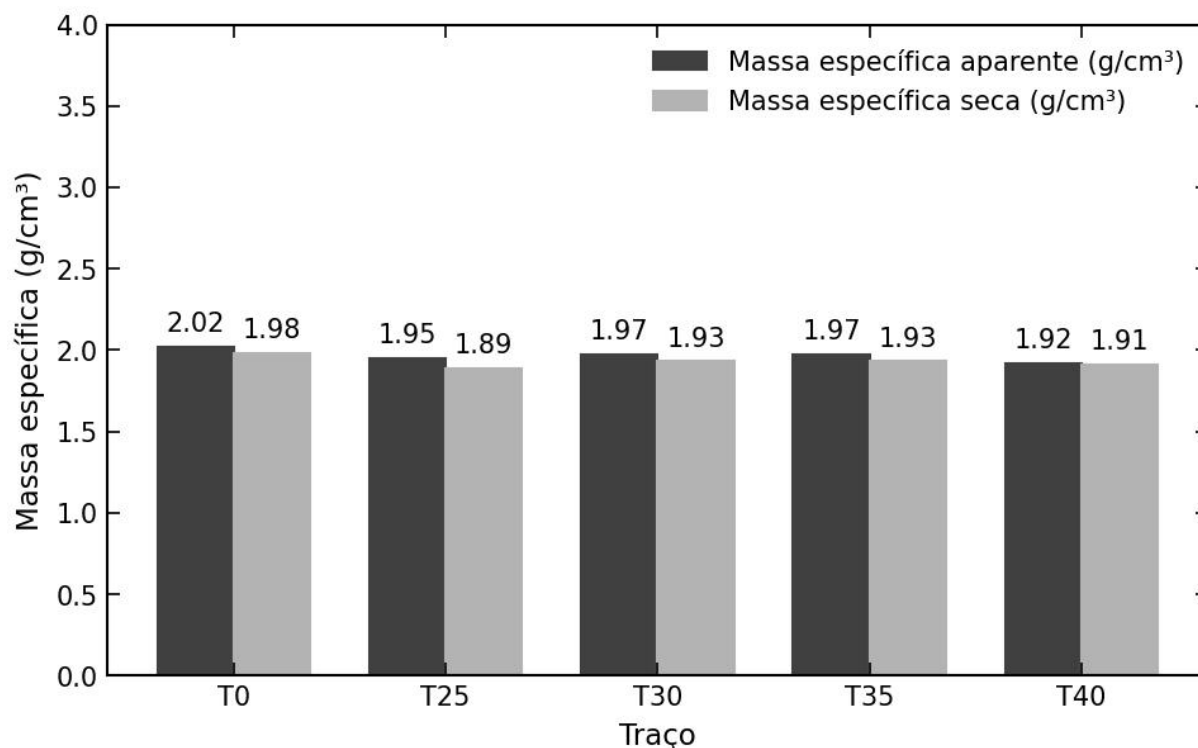
4.1 Etapa Piloto

A etapa piloto teve como objetivo avaliar a influência da substituição volumétrica do agregado graúdo por resíduo de XPS nas propriedades físicas e mecânicas do concreto em escala reduzida, subsidiando a definição do teor a ser empregado na produção dos blocos em escala real.

4.1.1 Massa específica

A Figura 8 apresenta os valores médios de massa específica aparente e massa específica seca dos concretos produzidos na etapa piloto, para os diferentes teores de substituição volumétrica do agregado graúdo por resíduo de XPS.

Figura 8 – Massa específica aparente e massa específica seca dos concretos da etapa piloto.



Fonte: Autor (2026).

Observa-se que os dois parâmetros apresentaram comportamento semelhante ao longo dos diferentes teores de substituição, com variações paralelas entre si, justificando sua análise

conjunta. O concreto de referência (T0) apresentou massa específica aparente de $2,02 \text{ g/cm}^3$ e massa específica seca de $1,98 \text{ g/cm}^3$. Para o teor de 25%, verificou-se redução para $1,95 \text{ g/cm}^3$ (aparente) e $1,89 \text{ g/cm}^3$ (seca). Nos teores de 30% e 35%, os valores permaneceram muito próximos entre si, com massa específica aparente de $1,97 \text{ g/cm}^3$ e seca de $1,93 \text{ g/cm}^3$. No teor de 40%, registraram-se $1,92 \text{ g/cm}^3$ (aparente) e $1,91 \text{ g/cm}^3$ (seca).

A redução máxima observada em relação ao traço de referência foi da ordem de aproximadamente 5% para a massa específica aparente e inferior a 4% para a massa específica seca. Considerando a variabilidade experimental associada à moldagem manual de concreto seco, variações dessa magnitude indicam comportamento global semelhante entre os traços até o teor de 35%, não caracterizando alteração expressiva na densidade do material nessa faixa.

A tendência observada não apresentou proporcionalidade direta entre aumento do teor de XPS e redução contínua da massa específica, especialmente entre 25% e 35%, intervalo no qual os valores permaneceram próximos. A redução mais perceptível ocorreu no teor de 40%, sugerindo que, a partir desse nível de incorporação, o volume de material polimérico passa a influenciar de forma mais consistente a compacidade do sistema.

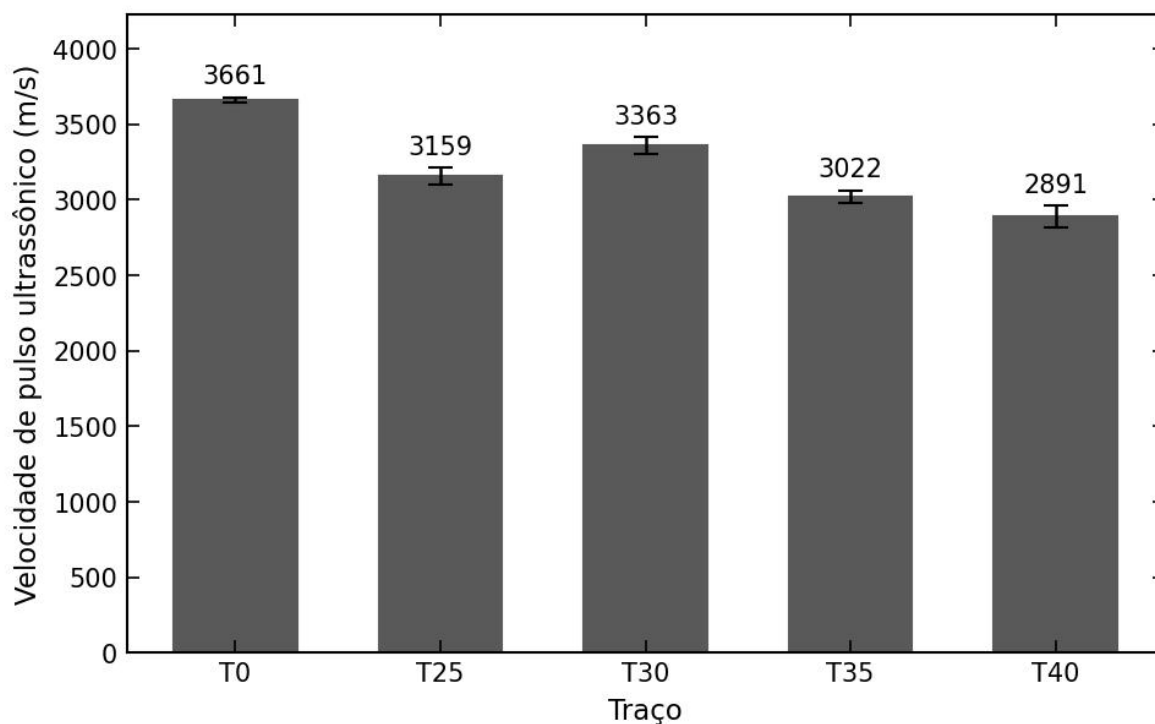
Resultados compatíveis são reportados por Kytinou et al. (2024), que observaram redução progressiva da densidade em compósitos cimentícios com incorporação de resíduo de XPS, sendo a magnitude da redução dependente do teor de substituição adotado. Em teores mais elevados, a diminuição da massa específica torna-se mais pronunciada, acompanhada de alterações na estrutura interna do material.

No intervalo investigado nesta pesquisa (até 40%), os resultados indicam que a incorporação de XPS promove leve redução da densidade, mantendo comportamento relativamente estável até 35%, o que sugere compatibilidade entre a substituição volumétrica adotada e o empacotamento granular da mistura.

4.1.2 Velocidade de propagação de pulso ultrassônico

Os valores médios de velocidade de propagação do pulso ultrassônico obtidos para os corpos de prova moldados na etapa piloto são apresentados na Figura 9.

Figura 9 – Velocidade de pulso ultrassônico dos concretos com diferentes teores de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS.



Fonte: Autor (2026).

Observa-se tendência de redução da velocidade de pulso ultrassônico com o aumento do teor de substituição, embora o comportamento não seja estritamente linear. O traço com 30% apresentou valor ligeiramente superior ao de 25%, sugerindo influência pontual do empacotamento e do grau de adensamento na compacidade do material. Entre o traço de referência e o teor de 40%, a diferença observada é de aproximadamente 21%, indicando alteração na densificação interna da matriz, devendo essa variação ser interpretada considerando a dispersão experimental dos resultados.

A velocidade de propagação do pulso ultrassônico está relacionada ao módulo elástico dinâmico e à densidade do compósito, sendo também influenciada pela continuidade da matriz cimentícia e pela presença de vazios ou descontinuidades internas, conforme discutido no ACI 228R-19. A incorporação de XPS aumenta a heterogeneidade do compósito e pode elevar a porosidade, gerando descontinuidades na zona de transição interfacial (ZTI) com a matriz cimentícia. Essas alterações reduzem a continuidade do meio sólido, refletindo-se na diminuição da velocidade de propagação das ondas.

Segundo Saint-Pierre et al. (2016), concretos com velocidades acima de 3600 m/s são classificados como de boa qualidade, entre 3000 m/s e 3600 m/s como qualidade intermediária e abaixo de 3000 m/s como qualidade inferior, considerando concretos

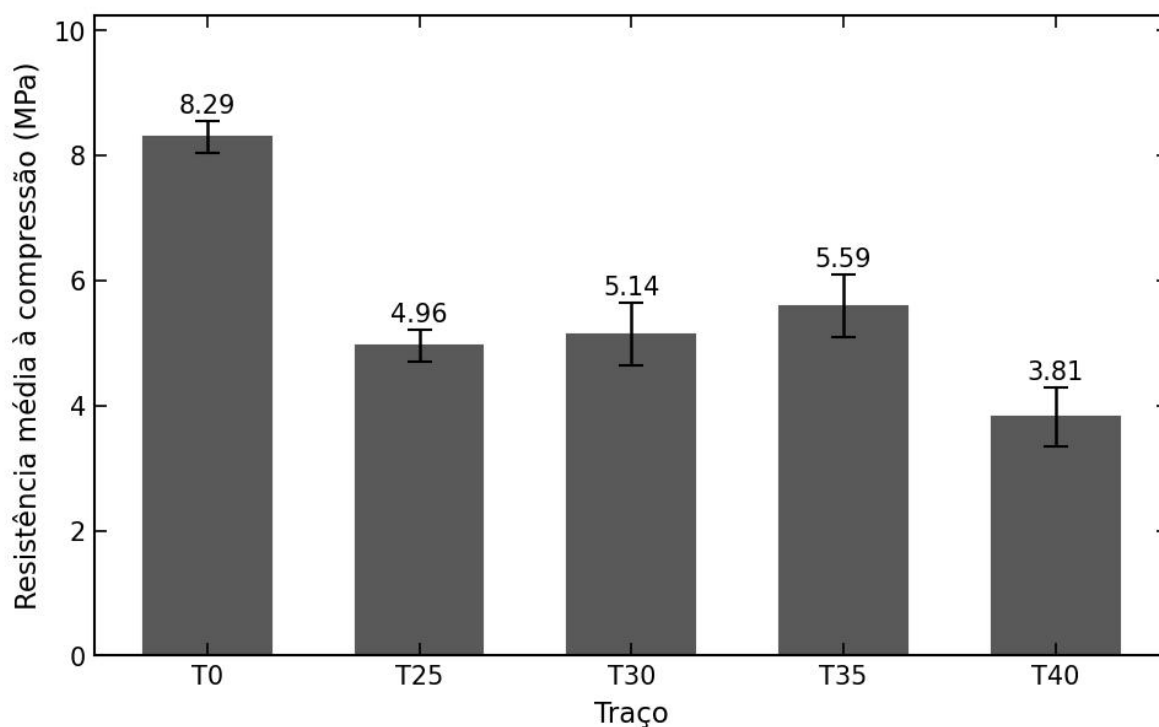
convencionais estruturais. Com base nessa referência, T0 enquadra-se na faixa superior; T25, T30 e T35 situam-se na faixa intermediária; e T40 aproxima-se do limite inferior dessa classificação.

Ressalta-se que tais faixas foram desenvolvidas para concretos estruturais convencionais e devem ser interpretadas com cautela para concretos leves ou modificados. No contexto desta pesquisa, voltada à produção de blocos classe C para vedação, os valores obtidos permanecem compatíveis com a aplicação proposta, sendo a redução observada tecnicamente coerente com a diminuição da massa específica e com o aumento da heterogeneidade interna promovidos pela incorporação do resíduo polimérico.

4.1.3 Resistência à compressão axial

Os valores médios de resistência à compressão axial obtidos aos sete dias para os diferentes teores de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS são apresentados na Figura 10.

Figura 10 – Resistência à compressão axial dos concretos com diferentes teores de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS.



Fonte: Autor (2026).

Observa-se tendência geral de redução da resistência à compressão com o aumento do teor de substituição por XPS, embora o comportamento não seja estritamente linear. O traço de referência apresentou resistência média de 8,29 MPa, enquanto o traço com 40% de substituição apresentou 3,81 MPa, correspondendo a uma redução aproximada de 54% em relação ao concreto convencional.

Os traços com 25%, 30% e 35% de substituição apresentaram resistências médias de 4,96 MPa, 5,14 MPa e 5,59 MPa, respectivamente. Nota-se que o teor de 30% apresentou desempenho ligeiramente superior ao de 25%, comportamento também observado no ensaio ultrassônico, indicando influência do empacotamento e do grau de adensamento na resposta mecânica do compósito.

A redução da resistência com a incorporação de agregados poliméricos é amplamente reportada na literatura, sendo associada à menor rigidez do material substituinte e à modificação da zona de transição interfacial entre a matriz cimentícia e a partícula polimérica (Pacheco-Torgal, 2018; Prasittisopin, 2022). Estudos com incorporação de XPS em compósitos cimentícios também registram reduções progressivas da resistência à compressão com o aumento do teor volumétrico, mantendo, entretanto, viabilidade para aplicações não estruturais (Kobyliński et al., 2021; Kytinou et al., 2024).

Embora a tendência global seja decrescente, verifica-se que até o teor de 35% a resistência permaneceu superior a 5 MPa, valor compatível com aplicações em alvenaria de vedação. Considerando que os ensaios foram realizados aos sete dias, com utilização de cimento CP V-ARI, os resultados já superaram o requisito mínimo de 3,0 MPa estabelecido pela ABNT NBR 6136 para blocos classe C destinados à alvenaria sem função estrutural.

Os resultados indicam que a perda de resistência não segue proporcionalidade direta com o aumento do teor de substituição, evidenciando a influência combinada de fatores como compactação, distribuição granulométrica e interação interfacial. Nesse contexto, o teor de 35% mostrou-se tecnicamente equilibrado, associando redução mensurável de massa específica à manutenção de resistência compatível com a aplicação proposta.

4.2 Produção dos blocos de concreto para vedação em escala real

Com base nos resultados obtidos na etapa piloto, foi selecionado o teor de 35% de substituição volumétrica do agregado graúdo por resíduo de XPS para a produção dos blocos em escala real.

Os teores de 25%, 30% e 35% apresentaram comportamento semelhante quanto à massa específica, velocidade de pulso ultrassônico e resistência à compressão, mantendo valores compatíveis com a aplicação proposta. Diante dessa equivalência de desempenho, a escolha do traço para a produção em escala real foi orientada principalmente pela estabilidade da mistura durante a moldagem manual e pela integridade física dos blocos após a desmoldagem, aspectos determinantes para a viabilidade prática do processo. Adicionalmente, optou-se pelo maior teor que apresentou desempenho satisfatório, com o objetivo de maximizar a incorporação do resíduo de XPS sem comprometer a execução e a qualidade final do produto. A partir dessa composição, procedeu-se à produção dos blocos em escala real, conforme descrito no Capítulo 3 . A Figura 11 mostra os blocos de concreto produzidos em escala real.

Figura 11 – Blocos de concreto para vedação produzidos em escala real.

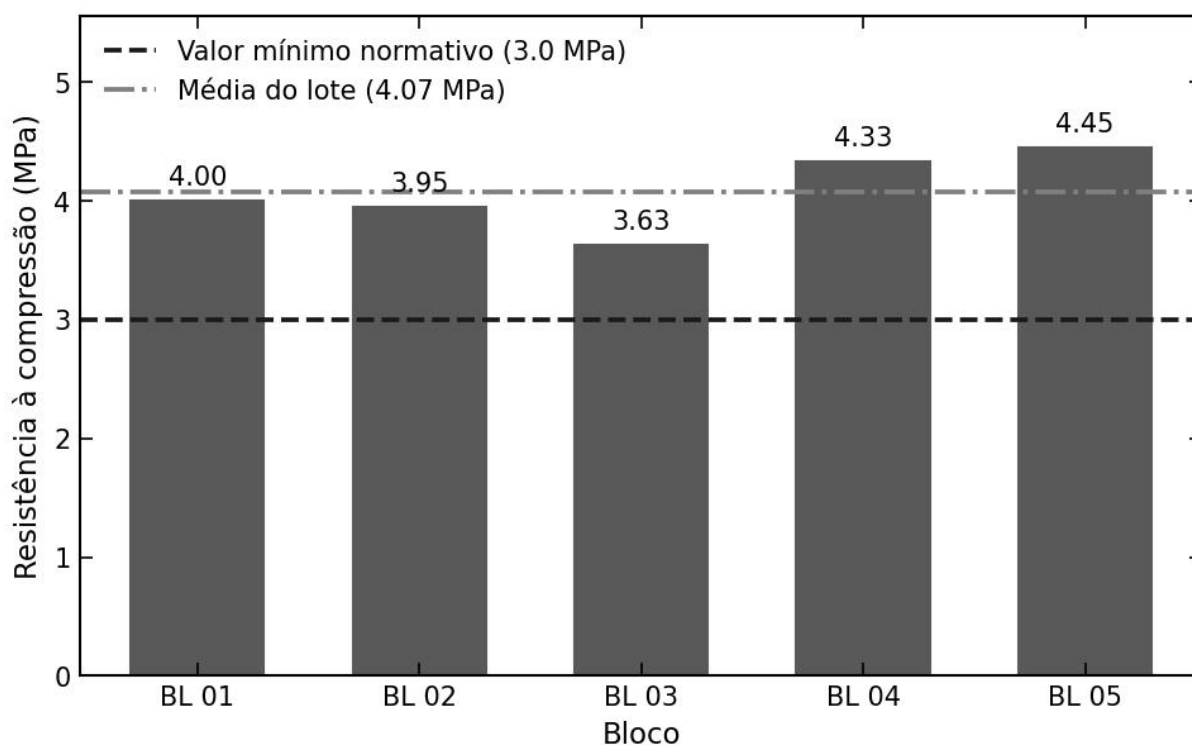


Fonte: Autor (2026).

4.2.1 Requisitos da ABNT NBR 6136

A Figura 12 apresenta os resultados individuais obtidos para cada bloco de concreto com resíduo de XPS ensaiado, bem como o valor médio do lote, em atendimento à exigência normativa da NBR 12118 de avaliação por unidade.

Figura 12 – Resistência à compressão individual dos blocos e valor médio do lote (35% XPS).



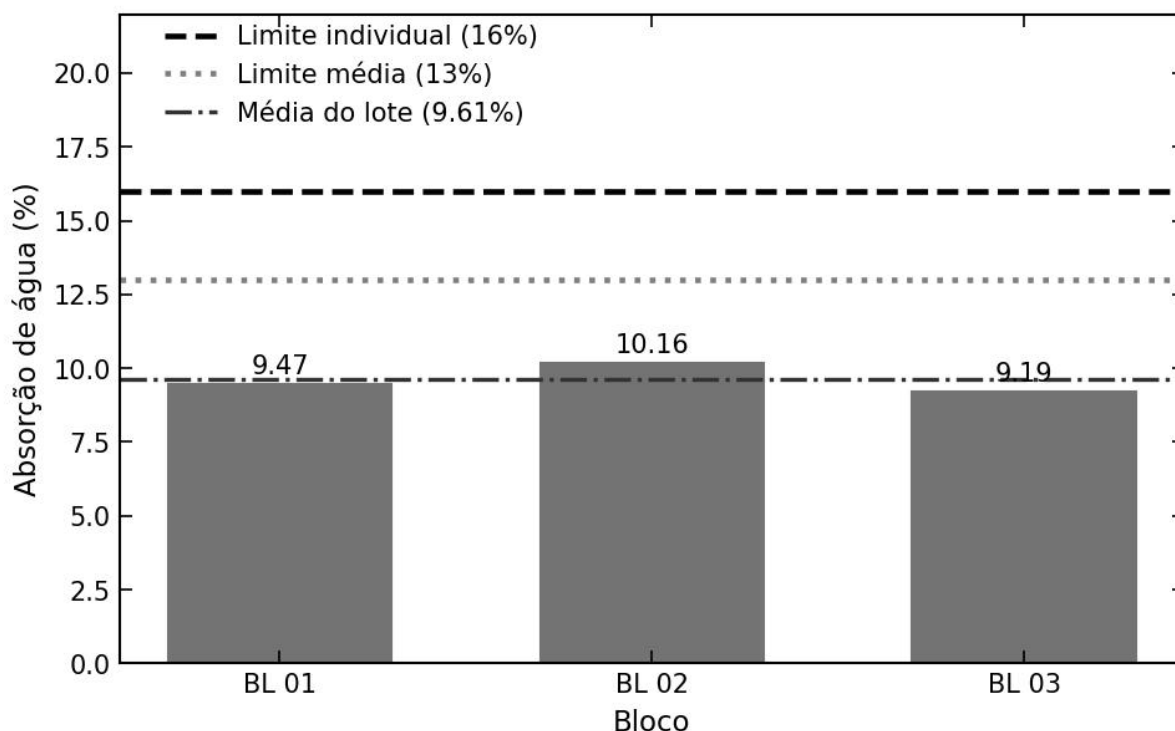
Fonte: Autor (2026).

Os valores individuais variaram entre 3,63 MPa e 4,45 MPa, com resistência média de 4,07 MPa. Todos os blocos apresentaram resistência superior ao valor mínimo de 3,0 MPa estabelecido pela ABNT NBR 6136 para blocos classe C destinados à alvenaria sem função estrutural.

A dispersão observada entre os valores individuais foi reduzida, indicando boa uniformidade do processo de moldagem manual adotado. O atendimento simultâneo ao critério individual e ao valor médio confirma a conformidade normativa do lote produzido.

A absorção de água foi determinada conforme a ABNT NBR 12118, sendo os resultados individuais e o valor médio apresentados na Figura 13.

Figura 13 – Absorção de água individual dos blocos e valor médio do lote (35% XPS).



Fonte: Autor (2026).

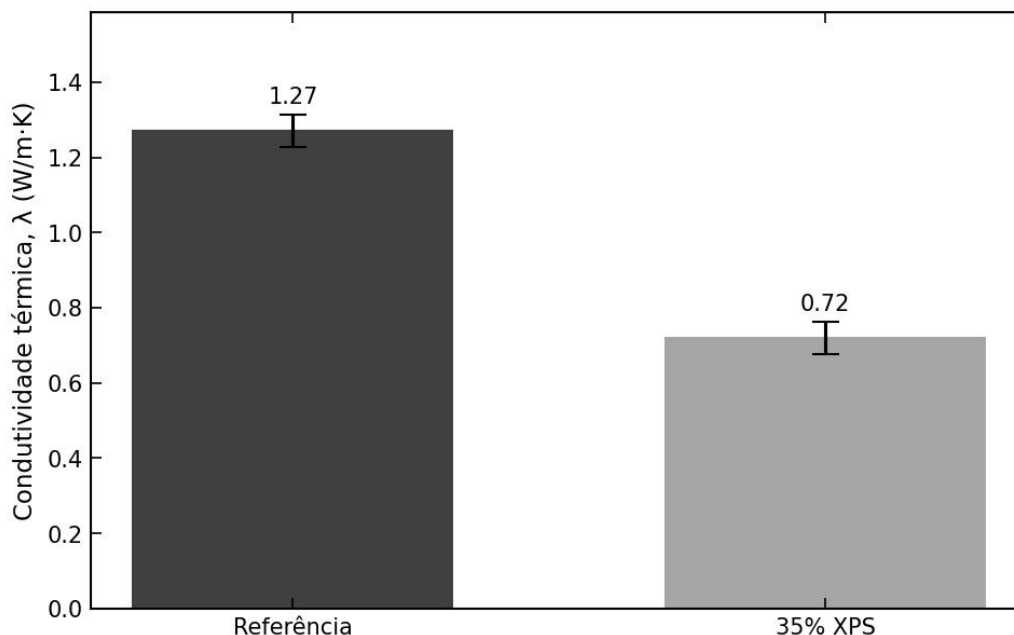
Os valores individuais de absorção variaram entre 9,19% e 10,16%, com média de 9,61%. Tais resultados situam-se abaixo dos limites máximos estabelecidos pela ABNT NBR 6136 para blocos classe C com resistência característica inferior a 8 MPa, os quais são de 16% para valor individual e 13% para média do lote.

A incorporação de 35% de XPS, nas condições de dosagem e moldagem adotadas, não comprometeu o desempenho físico do material quanto à absorção de água. Em conjunto com os resultados de resistência à compressão, verifica-se que o traço selecionado atende simultaneamente aos requisitos mecânicos e físicos exigidos para aplicação em alvenaria de vedação.

4.2.2 Condutividade térmica

A Figura 14 apresenta os valores individuais obtidos para cada placa de bloco de concreto ensaiada, referência e com resíduo de XPS.

Figura 14 – Condutividade térmica das placas de concreto de referência e com 35% de XPS.



Fonte: Autor (2026).

Obteve-se condutividade térmica média de 1,27 W/(m·K) para a placa de referência e 0,72 W/(m·K) para a placa com 35% de substituição volumétrica por XPS, correspondendo a uma redução aproximada de 43% em relação ao concreto convencional. A redução observada está associada à modificação da microestrutura global do compósito promovida pela incorporação do resíduo polimérico. A condutividade térmica em materiais cimentícios depende da densidade, da continuidade da fase sólida e das características das fases constituintes, conforme discutido por Incropera et al. (2014). A substituição parcial do agregado mineral por XPS, material de baixa condutividade térmica intrínseca, altera os caminhos de condução de calor no interior da matriz, reduzindo a eficiência do transporte térmico por condução.

Verifica-se coerência entre esse resultado e os dados apresentados nos itens 4.1.1 e 4.1.2. A redução da massa específica e da velocidade de pulso ultrassônico indica alteração da compactidade e da rigidez global do material, fatores que influenciam tanto o comportamento mecânico quanto o transporte de calor em compósitos cimentícios.

Na literatura, concretos leves com incorporação de agregados poliméricos ou EPS apresentam condutividades térmicas inferiores às dos concretos convencionais, situando-se frequentemente na faixa entre 0,60 e 1,00 W/(m·K), dependendo da fração incorporada e da densidade final do material (Prasittisopin, 2022; Kytinou et al., 2024). O valor obtido neste

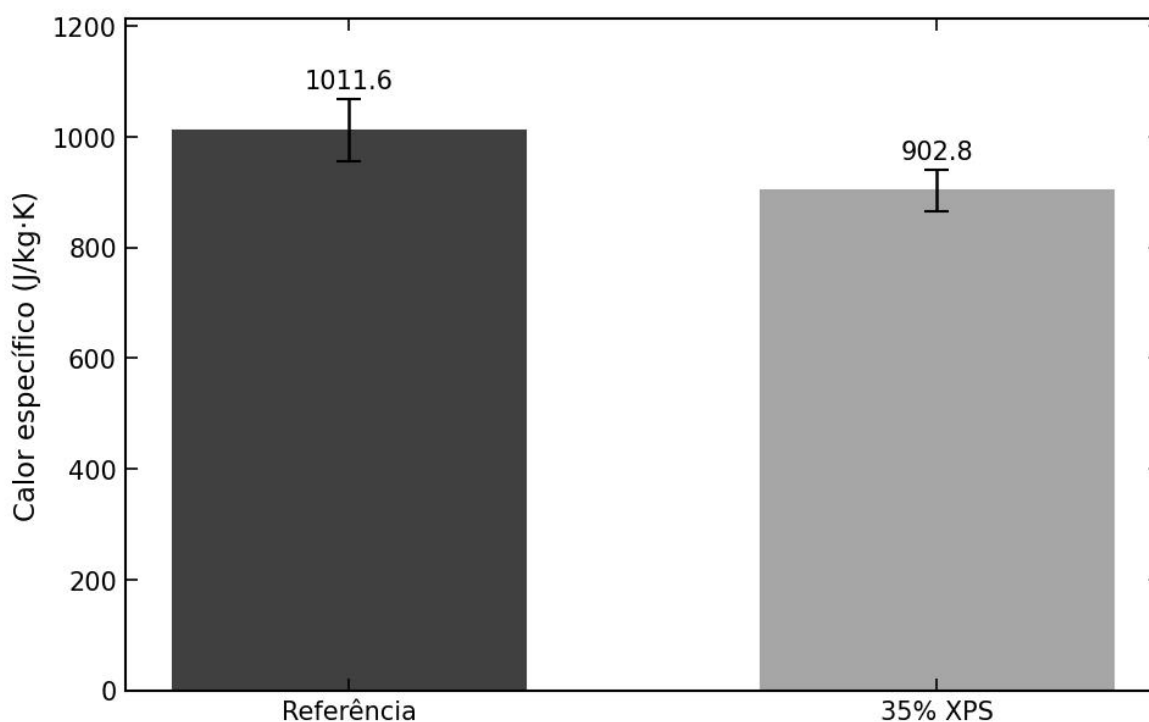
estudo para o concreto com 35% de XPS encontra-se dentro desse intervalo, indicando compatibilidade com o comportamento reportado.

Do ponto de vista físico, a redução observada na condutividade térmica decorre da substituição parcial de agregados minerais por um material com menor condutividade térmica intrínseca e menor densidade, o que altera o mecanismo de condução no interior do compósito. Assim, o concreto com 35% de XPS apresenta maior resistência à transferência de calor quando comparado ao concreto convencional, reforçando sua adequação para aplicação em elementos de vedação com potencial melhoria de desempenho térmico.

4.2.3 Calor específico

A Figura 15 apresenta os valores obtidos de calor específico para o concreto de referência e a concreto com 35% de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS.

Figura 15 – Calor específico das amostras de concreto de referência e com 35% de XPS.



Fonte: Autor (2026).

O concreto de referência apresentou calor específico médio de 1011,6 J/kg·K, enquanto o concreto com 35% de substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS apresentou valor médio de 902,8 J/kg·K.

Comparativamente, observa-se redução aproximada de 11% no calor específico do concreto com incorporação de XPS em relação ao concreto convencional, indicando alteração na capacidade de armazenamento de energia térmica do material em decorrência da presença do resíduo polimérico.

A redução observada está associada à alteração da composição do compósito. O calor específico do concreto depende da contribuição térmica de suas fases constituintes, sendo influenciado pela fração volumétrica de agregados minerais, matriz cimentícia e vazios (Incropera et al., 2014). A substituição parcial do agregado mineral por XPS, material polimérico de baixa densidade e estrutura celular fechada, modifica a proporção relativa dessas fases, resultando em menor capacidade de armazenamento de energia térmica por unidade de massa (Prasittisopin, 2022; Kytinou et al., 2024).

Os valores obtidos para o concreto de referência situam-se na faixa tipicamente reportada para concretos convencionais, geralmente entre 880 e 1050 J/kg·K, conforme indicado na literatura de transferência de calor em materiais cimentícios. Compósitos cimentícios com incorporação de agregados poliméricos ou EPS tendem a apresentar redução moderada do calor específico mássico, comportamento associado à modificação da microestrutura e à menor participação de fases minerais densas, conforme discutido por Prasittisopin (2022).

A redução observada neste estudo é coerente com os resultados do ensaio de condutividade térmica apresentados no item 4.2.2. Enquanto a incorporação de XPS promove diminuição da condutividade térmica, favorecendo o desempenho isolante, também reduz a capacidade térmica mássica do material, implicando menor inércia térmica. Essa combinação de efeitos explica o comportamento observado no ensaio em placas, no qual o concreto com XPS apresentou aquecimento mais rápido da face interna, mas menor transmissão de calor para a face externa.

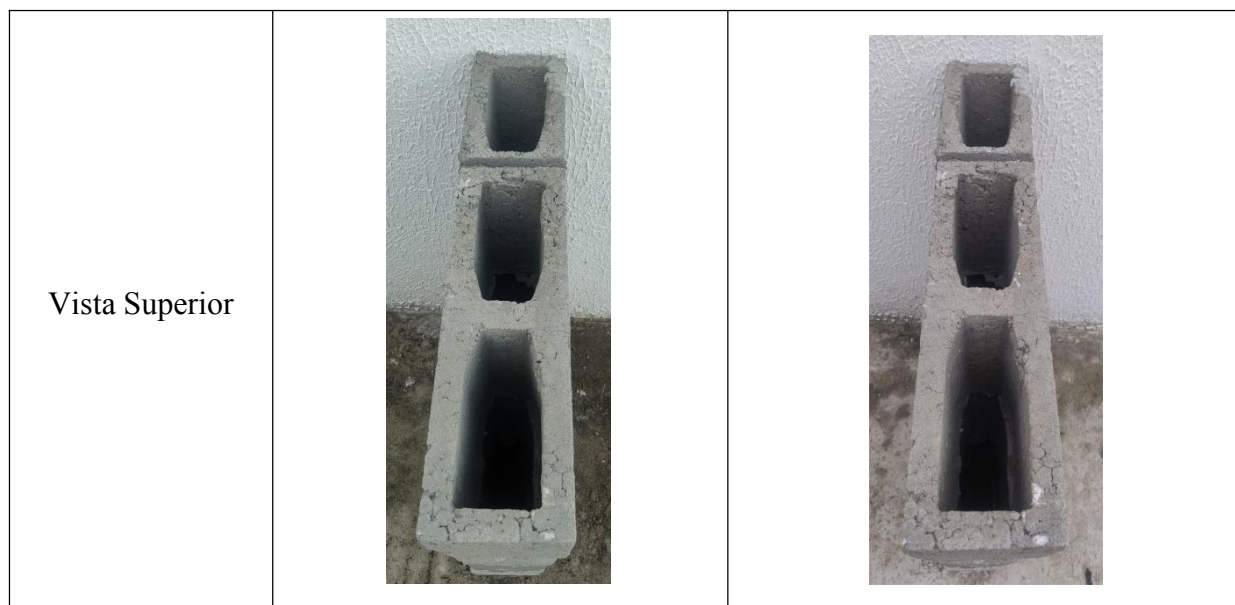
Dessa forma, os resultados indicam que a incorporação de 35% de XPS modifica simultaneamente a capacidade de armazenamento e a transferência de calor no compósito cimentício, mantendo coerência física entre os parâmetros térmicos avaliados e reforçando o potencial de aplicação do material em elementos de vedação voltados à melhoria do desempenho térmico das edificações.

4.3 Durabilidade por exposição natural

Com o objetivo de sistematizar a análise visual, a Tabela 3 apresenta comparação direta entre os registros obtidos no início e ao final do período de 150 dias de exposição da parede de blocos de concreto produzidos com resíduos de XPS, considerando diferentes perspectivas do elemento

Tabela 3 – Comparação visual dos blocos em 0 e 150 dias de exposição natural.

Vista avaliada	0 dias	150 dias
Vista Frontal	 A photograph showing the front view of a wall section made of concrete blocks. The blocks are arranged in a standard staggered pattern. The surface appears smooth and uniform in color (grey). The mortar joints are clearly visible and consistent.	 A photograph showing the front view of the same wall section after 150 days of natural exposure. The concrete blocks show signs of weathering, including surface discoloration and some minor pitting. The mortar joints appear slightly more eroded compared to the 0-day sample.
Vista Posterior	 A photograph showing the back view of the wall section. The blocks are arranged in a staggered pattern. The surface is smooth and uniform. The mortar joints are consistent.	 A photograph showing the back view of the wall section after 150 days of natural exposure. The blocks show signs of weathering, including surface discoloration and some minor pitting. The mortar joints appear slightly more eroded compared to the 0-day sample.



Fonte: Autor (2026).

A análise comparativa dos registros fotográficos não evidenciou ocorrência de fissuras visíveis, desagregação superficial, destacamento de material ou manifestações patológicas que comprometessem a integridade dos blocos ao longo do período avaliado.

As arestas mantiveram-se definidas, não sendo observados arredondamentos progressivos ou perda de material nas quinas expostas. As faces externas apresentaram estabilidade superficial, sem sinais de eflorescência significativa, destacamento ou pulverulência. As paredes internas dos vazios também permaneceram íntegras, indicando adequada coesão da matriz cimentícia mesmo com a incorporação do resíduo polimérico. Não foram observadas aberturas ou deslocamentos nas juntas entre blocos, sugerindo estabilidade dimensional sob variações naturais de temperatura e umidade.

Embora a avaliação por exposição natural não substitua ensaios acelerados normatizados de durabilidade, como ciclos de molhagem-secagem ou gelo-degelo, os resultados obtidos fornecem indicativos do comportamento do material em condições reais de serviço. O desempenho observado ao longo de 150 dias reforça a estabilidade superficial e a integridade física dos blocos produzidos com 35% de XPS para aplicação em alvenaria de vedação.

4.4 Resultados da Transferência de Tecnologia

A etapa de transferência de tecnologia permitiu avaliar, em contexto comunitário real, a aplicabilidade prática do traço selecionado e a adequação do processo produtivo às condições estruturais e operacionais disponíveis na comunidade do Córrego dos Fernandes.

Na primeira oficina participaram 16 pessoas. As informações referentes ao perfil dos participantes foram obtidas por meio de levantamento inicial realizado durante a abertura da atividade, no qual os próprios presentes informaram dados básicos sobre ocupação e vínculo empregatício. Observou-se predominância do público masculino e maioria sem vínculo formal de trabalho. O engajamento foi avaliado de forma qualitativa, com base na participação espontânea durante a exposição teórica, na formulação de perguntas relacionadas à viabilidade produtiva e na interação nas atividades práticas, indicando interesse quanto aos aspectos ambientais e econômicos do reaproveitamento do XPS.

A apresentação física dos blocos previamente produzidos possibilitou avaliação tátil e visual do material, favorecendo a compreensão da relação entre leveza, resistência e aplicação prática. A construção demonstrativa de uma bancada permitiu evidenciar, na prática, aspectos como alinhamento, assentamento e estabilidade do elemento, contribuindo para a consolidação do entendimento sobre seu potencial construtivo.

Na segunda oficina participaram 14 pessoas, mantendo-se consistência no público em relação à primeira ação. Nessa etapa, o enfoque foi predominantemente prático, com demonstração integral do processo produtivo e posterior execução pelos próprios participantes.

O processo de produção definido em laboratório mostrou-se compatível com a infraestrutura disponível na comunidade, exigindo apenas equipamentos simples e de baixo custo. Não foram identificadas barreiras técnicas significativas relacionadas à complexidade do método. Observou-se que os participantes compreenderam a sequência operacional do processo e conseguiram reproduzir os blocos com autonomia progressiva durante a atividade prática, indicando coerência entre o método proposto e a capacidade de execução local.

A Figura 16 apresenta registros das atividades desenvolvidas durante oficinas realizadas no distrito de Aracati-CE, ilustrando tanto as ações formativas quanto as atividades práticas de produção.

Figura 16 – Atividades de transferência de tecnologia realizadas no distrito de Aracati–CE.

(a) Atividade formativa sobre produção de blocos de concreto com XPS



(b) Aplicação dos blocos de concreto produzidos na pesquisa para construção de uma bancada



(c) Produção manual de blocos de concreto com incorporação de XPS pela comunidade



Fonte: Autor (2026).

Do ponto de vista técnico, a mistura apresentou comportamento adequado ao processo manual, sem ocorrência de segregação significativa do XPS ou dificuldades relevantes de compactação, demonstrando estabilidade suficiente para produção comunitária sem necessidade de equipamentos industriais.

Sob a perspectiva da transferência do conhecimento, considera-se que o processo foi bem-sucedido quanto à compreensão técnica e à assimilação dos fundamentos produtivos. Entretanto, até o momento da conclusão desta pesquisa, ainda não se encontra estruturada uma estratégia consolidada de produção contínua por parte da comunidade. Foram levantadas perspectivas relacionadas à elaboração de plano de negócio simplificado e análise de viabilidade econômica preliminar, iniciativas que se encontram em fase de organização.

De modo geral, os resultados evidenciam que a tecnologia proposta apresenta compatibilidade técnica e operacional com o contexto comunitário analisado, configurando potencial alternativa construtiva sustentável com possibilidade de aplicação social futura.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo desenvolver blocos de concreto termicamente eficientes para alvenaria de vedação, com incorporação de resíduos de poliestireno extrudado (XPS), e analisar sua viabilidade técnica e aplicação em contexto comunitário.

A etapa piloto permitiu identificar que a substituição volumétrica do agregado graúdo por XPS influencia diretamente a massa específica, a velocidade de pulso ultrassônico e a resistência à compressão do concreto. Observou-se redução progressiva dessas propriedades com o aumento do teor incorporado, comportamento associado à menor densidade e à natureza polimérica do resíduo. Entre os teores avaliados, as composições com 25%, 30% e 35% apresentaram desempenho mecânico semelhante para aplicações não estruturais, sendo selecionado o teor de 35% por permitir maior incorporação do resíduo sem comprometer a viabilidade técnica.

Os blocos produzidos em escala real com 35% de substituição atenderam aos requisitos normativos estabelecidos pela ABNT NBR 6136 para blocos classe C, tanto quanto à resistência à compressão quanto à absorção de água. Os resultados confirmam que o processo de moldagem manual adotado é tecnicamente viável para a produção de blocos destinados à alvenaria de vedação, mesmo fora de ambiente industrial.

No que se refere ao desempenho térmico, verificou-se redução significativa da condutividade térmica do compósito com XPS em comparação ao concreto convencional, indicando maior resistência à condução de calor. A análise do calor específico evidenciou alteração na capacidade térmica do material, demonstrando que a incorporação do resíduo modifica simultaneamente o armazenamento e a propagação de energia térmica. A análise conjunta desses resultados confirma que o material apresenta comportamento mais favorável para aplicação em elementos de vedação em regiões de clima quente.

A avaliação da durabilidade por exposição natural, conduzida ao longo de 150 dias, não evidenciou manifestações patológicas visíveis, como fissuração, desagregação ou perda de integridade geométrica. Ainda que o procedimento não substitua ensaios laboratoriais acelerados, os resultados indicam estabilidade física do material em condições ambientais reais.

A estratégia de produção adotada demonstrou compatibilidade com aplicação comunitária, evidenciando que a tecnologia pode ser reproduzida em contexto social por meio de procedimentos acessíveis e de baixo custo.

De forma geral, conclui-se que a incorporação de 35% de resíduo de XPS no concreto seco possibilita a produção de blocos adequados para alvenaria de vedação, com desempenho térmico superior ao traço de referência e estabilidade em exposição natural. Os resultados obtidos indicam viabilidade técnica e potencial de aplicação social, evidenciando a possibilidade de integração entre desempenho construtivo, responsabilidade ambiental e atuação comunitária no âmbito da engenharia civil.

5.1 Trabalhos futuros

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se que pesquisas futuras aprofundem os seguintes aspectos:

- a) Avaliação microestrutural do compósito, por meio de técnicas como análise de porosidade ou microscopia, visando correlacionar quantitativamente a estrutura interna do concreto com as propriedades mecânicas e térmicas observadas;
- b) Realização de ensaios acelerados de durabilidade, incluindo ciclos de molhagem e secagem e variações térmicas controladas, a fim de complementar a análise por exposição natural e ampliar a compreensão do desempenho a longo prazo;
- c) Monitoramento do desempenho dos blocos em aplicação real, com acompanhamento técnico de unidades construídas pela comunidade capacitada, permitindo avaliar comportamento térmico e mecânico em uso contínuo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: **Blocos de concreto para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802: **Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2019.

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, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9779: **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12023: **Solo-cimento — Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12118: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: **Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17054: **Agregados – Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916: **Agregado miúdo — Determinação da massa específica e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16917: **Agregado graúdo — Determinação da massa específica e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16972: **Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSAAD, J. J.; EL MIR, A. Durability of polymer-modified lightweight flowable concrete made using expanded polystyrene. **Construction and Building Materials**, v. 249, p. 118764, 2020.

BAI, Z.; LIU, Y.; YANG, J.; HE, S. Exploring the dynamic response and energy dissipation capacity of functionally graded EPS concrete. **Construction and Building Materials**, v. 227, p. 116574, 2019.

BOCKEN, N. M. P.; SHORT, S. W.; RANA, P.; EVANS, S. A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 42–56, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares)**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/plano-nacional-de-residuos-solidos>. Acesso em: 5 jan. 2026.

CARUANA, C. et al. Overview of testing methodologies for thermally improved hollow-core concrete blocks. **Energy Procedia**, v. 62, p. 180–189, 2014.

CARUANA, C. et al. Determination of thermal characteristics of standard and improved hollow concrete blocks using different measurement techniques. **Journal of Building Engineering**, v. 13, p. 336–346, 2017.

CEARÁ. **Lei nº 18.312, de 17 de fevereiro de 2023**. Institui o Programa Ceará Sem Fome e cria as Redes de Unidades Sociais Produtoras de Refeições. Diário Oficial do Estado do Ceará, Fortaleza, CE, 17 fev. 2023. Disponível em: <https://www.cearasemfome.ce.gov.br/>. Acesso em: 14 dez. 2025.

CHEN, B.; LIU, J. Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber. **Cement and Concrete Research**, v. 34, n. 7, p. 1259–1263, 2004.

CORINALDESI, V.; MORICONI, G. Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 1, p. 289–294, 2009.

CUI, C. et al. Stress–strain relationship in axial compression for EPS concrete. **Construction and Building Materials**, v. 105, p. 377–383, 2016.

DEL COZ DÍAZ, J. J. et al. Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method. **Applied Thermal Engineering**, v. 27, n. 8–9, p. 1445–1456, 2007.

DIXIT, A. et al. Lightweight structural cement composites with EPS for enhanced thermal insulation. **Cement and Concrete Composites**, v. 102, p. 185–197, 2019.

EL GAMAL, S. et al. Mechanical and thermal properties of lightweight concrete with recycled EPS. **European Journal of Environmental and Civil Engineering**, 2024.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 12667:2001 – **Thermal performance of building materials and products — Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods — Products of high and medium thermal resistance**. Brussels, 2001.

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade**. 4. ed. São Paulo: Treino Assessoria Empresarial, 2013.

FERNANDO, P. L. N.; JAYASINGHE, M. T. R. Structural feasibility of Expanded Polystyrene (EPS) based lightweight concrete sandwich wall panels. **Construction and Building Materials**, v. 135, p. 77–88, 2017.

HU, J.; LIU, Y.; LIU, B.; HAN, D. Temperature effect on the thermal conductivity of expanded polystyrene (EPS) foamed concrete: experimental investigation and model correction. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2019, Article ID 8292379, 2019

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2022**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Acesso em: 19 dez. 2025.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9869-1:2014 – **Thermal insulation — Building elements — In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance — Part 1: Heat flow meter method**. Geneva, 2014.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8301:1991 – **Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Heat flow meter apparatus**. Geneva, 1991.

KIOUPIS, D. et al. Properties and Durability Performance of Lightweight Fly Ash Based Geopolymer Composites Incorporating Expanded Polystyrene and Expanded Perlite. **Ceramics**, v. 5, n. 4, p. 821–836, 2022.

KYTINOOU, V. K. et al. Exploitation of extruded polystyrene (XPS) waste for lightweight, thermal insulation and rehabilitation building applications. **Developments in the Built Environment**, v. 20, 100580, 2024.

KOBYLIŃSKI, K. J. et al. Analysis of the Possibility of Using Extruded Polystyrene Wastes to Make Lightweight Cement Composites. **Journal of Ecological Engineering**, 22(7), p. 123–131, 2021.

KOLOKOTSA, D. et al. Predictive control techniques for energy and indoor environmental quality management in buildings. **Building and Environment**, v. 44, n. 9, p. 1850–1859, 2009.

MARKULAK, D.; RADONJANIN, V.; MALEŠEV, M.; RADOJEVIĆ, Z. Structurally and environmentally favorable masonry units. **Engineering Structures**, v. 175, p. 753–764, 2018

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MENG, Y.; LING, T. C.; MO, K. H. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 138, p. 298–312, 2018.

METAXA, Z. S. et al. Novel extruded polystyrene lightweight thermoinsulating cement mortar: Experimental investigation of the mechanical behaviour. **Procedia Structural Integrity**, v. 68, p. 184–189, 2025.

MICKAITYTE, A. et al. The concept model of sustainable buildings refurbishment. **International Journal of Strategic Property Management**, v. 12, n. 1, p. 53–68, 2008.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 9. ed. Hoboken: Wiley, 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NOGUEIRA, M. A.; COSTA, L. C.; RESENDE, D. M.; CARVALHO, V. R.; MENDES, J. C.; PEIXOTO, R. A. F. Mitigating the socioeconomic impacts of the mining industry through social technologies: guidelines for technology transfer between universities and communities. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 30, p. 1–15, 2023.

PACHECO-TORGAL, F. **Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete**. San Diego: Elsevier, 2018.

PAVLŮ, T. et al. Utilization of recycled masonry aggregate and expanded polystyrene granules for production of lightweight mortarless concrete blocks. **Materials**, v. 12, n. 12, 1923, 2019

PEREIRA, E. et al. Durabilidade de concretos com agregados reciclados. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 3, p. 125–134, 2012.

PLASTICSEUROPE. **Plastics – the Facts 2022: an analysis of European plastics production, demand and waste data**. Brussels: PlasticsEurope, 2022. Disponível em: <https://plasticseurope.org> . Acesso em: 19 dez. 2025.

POKORNÝ, J. et al. The influence of expanded polystyrene on properties of cement-based composites. **AIP Conference Proceedings**, v. 2894, n. 1, p. 020014, 2023.

PRASITTISOPIN, L. Review of concrete with EPS performance and environmental aspects. *Journal of Cleaner Production*, v. 365, p. 132512, 2022.

RAD, E. A.; FALLAHI, E. Surface-modified EPS aggregates in concrete: Mechanical behavior. **Construction and Building Materials**, v. 205, p. 196–205, 2019.

SAYADI, A. A. et al. Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 716–724, 2016.

SAINT-PIERRE, F.; PHILIBERT, A.; GIROUX, B.; RIVARD, P. Concrete Quality Designation based on Ultrasonic Pulse Velocity. **Construction and Building Materials**, v. 125, p. 1022–1027, 2016.

SAXENA, S.; TEMBHURKAR, A. Impact of use of steel slag as coarse aggregate and wastewater on fresh and hardened properties of concrete. **Construction and Building Materials**, v. 165, p. 126–137, 2018.

SINGH, A. A comprehensive review on the synthesis, properties and applications of polystyrene-based materials. **Journal of Materials Science**, 2025.