



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Karina de Lima

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO
POROSO ANTES E APÓS COLMATAÇÃO

FORTALEZA
2023

KARINA DE LIMA

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO
POROSO ANTES E APÓS COLMATAÇÃO

Monografia submetida ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco, Ph.D.

FORTALEZA

2023

KARINA DE LIMA

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO
POROSO ANTES E APÓS COLMATAÇÃO

Monografia submetida ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 05/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Msc. Larissa Virgínia da Silva Ribas
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Prof. Dr. Wellington Lorrán Gaia Ferreira
Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA)

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a realização desta monografia e para a conclusão da minha graduação, devo-lhes minha sincera gratidão

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre me proteger e me livrar de todos os males. Agradeço à Virgem Maria por sempre me amparar em todos os momentos dessa jornada e por interceder nas minhas orações.

Aos meus pais, Maria da Conceição de Lima e José Valdiso de Lima, que são os principais motivadores nessa conquista, dedico-lhes um agradecimento especial. Todo o apoio e o investimento feito em minha educação foi fundamental para que eu conseguisse alcançar esse tão almejado sonho. Muito obrigada por sempre acreditarem em mim e por toda a paciência que tiveram durante esse percurso.

Ao meu amado namorado, João Victor Lima Alencar, agradeço com muito amor por ser o meu parceiro na vida e na trajetória acadêmica. Sou muito grata por sempre se preocupar comigo, por todas as provas que estudamos juntos, pela motivação e pelas palavras de incentivo durante os meus momentos de cansaço, todo esse suporte foi essencial para meu sucesso.

Agradeço também à minha irmã, Kamilly de Lima, por todas as palavras de apoio e pela admiração que demonstra ter por mim. O seu apoio me ajudou a enfrentar os desafios com confiança.

À minha professora orientadora, Verônica Castelo Branco, expresso minha profunda gratidão. Sua dedicação, paciência, compreensão e orientação valiosa foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço imensamente por compartilhar seu vasto conhecimento e pelo comprometimento notável em me auxiliar nesta jornada acadêmica. Seu apoio foi essencial para o meu crescimento e aprendizado. Muito obrigada!

Também agradeço à professora e grande amiga Larissa Ribas, que generosamente muito me auxiliou no TCC. Sua orientação e suas ideias contribuíram de forma significativa para o aprimoramento deste trabalho. Sou grata pela sua disponibilidade em compartilhar seu conhecimento, sua experiência e pelos conselhos, tudo isso foi de um valor imensurável.

É com profunda gratidão que dedico este agradecimento ao Laboratório

TRAMA (Transportes e Meio Ambiente), ao qual tenho a honra de fazer parte. Sob a inspiradora liderança da minha excepcional orientadora, Verônica Castelo Branco, e do incrível professor Bruno Bertocini, o TRAMA é um oásis de aprendizado e de colaborações notáveis. Expresso a minha eterna gratidão aos amigos deste laboratório, cujo apoio inestimável foi muitíssimo importante nessa jornada. Larissa Ribas, Assis Bezerra, Amanda Alcântara, Débora Barbosa, José Roberto, Lúcia Ferreira, Victor Cardoso e Juliana suas contribuições e amizade enriqueceram imensamente não apenas esta pesquisa, assim como alegraram muito os meus dias. Agradeço de todo o coração a cada membro do Laboratório TRAMA pela constante generosidade e pelo apoio prestado ao longo deste processo.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à dedicada equipe do Laboratório de Solos, notadamente ao Sr. Roberto, ao Sr. Anselmo, à minha grande amiga Dalila e ao Sr. Francisco (Ciroca). A ajuda, a disponibilidade e o apoio incansáveis que recebi de vocês e de toda a equipe do laboratório desempenharam um papel fundamental no desenvolvimento deste trabalho. Foi a combinação da expertise de toda a equipe e do vínculo de amizade criado que tornou essa jornada tão significativa. Além disso, sou grata à equipe do Laboratório de Materiais da Construção Civil - LMCC. Em especial, quero destacar a contribuição valiosa do professor Eduardo Cabral e do técnico Helano, cuja colaboração foi fundamental para o sucesso desta pesquisa. Agradeço profundamente a ambos os laboratórios por tamanha solicitude e pelo apoio inestimável ao longo de todo o processo.

Não posso deixar de agradecer ao meu filho pet, Bernardo. Sua presença amorosa e companheirismo trouxeram alegria e conforto durante todo o processo. Nos momentos de estudo intenso, estive ao meu lado, trazendo lambidas, latidas e afeto. Seu olhar atento e alegria contagiante foram um lembrete constante da importância de equilibrar o trabalho árduo com momentos de descontração. A você, Bernardo, amor da minha vidinha, meu eterno agradecimento.

Agradeço também ao meu tio João Valdiro Filho, por todo o suporte dado e por todos os conselhos. Tudo isso foi de grande valia para mim, assim como contribuiu para que eu chegasse até aqui.

Por fim, quero agradecer à família do meu namorado, Ivamar, Wangi e Arthur, por toda a preocupação e apoio demonstrados ao longo da minha graduação. A presença e a preocupação de vocês no meu progresso acadêmico me

proporcionaram um suporte valioso. Saber que podia contar com vocês durante essa jornada foi um verdadeiro privilégio.

Agradeço ao CNPq por seu compromisso contínuo com a educação e pesquisa, que beneficia estudantes e pesquisadores em todo o Brasil.

"Confia no Senhor de todo o teu coração e não te estribes no teu próprio entendimento."

(Provérbios 3:5)

RESUMO

O crescimento acelerado e não planejado das cidades tem levado à baixa permeabilidade dos solos e, com isso, tem agravado problemas como o efeito de Ilha de Calor Urbano (ICU). Nesse contexto, o pavimento de concreto poroso representa uma alternativa sustentável, uma vez que controla o escoamento pluvial e possui elevado albedo, propriedade que quantifica o quanto a superfície reflete de luz. A colmatção é fenômeno que se trata do entupimento dos poros do concreto poroso que se dá pela entrada de sedimento e acarreta a perda de via útil do pavimento de concreto poroso. Dessa forma, este estudo tem como objetivo analisar os efeitos da colmatção em pavimentos de concreto poroso, concentrando-se em comportamento térmico, condutividade térmica e processo evaporativo. Inicialmente, foi analisada a influência da temperatura do ar e da umidade relativa nas temperaturas de superfície de pavimentos de concreto poroso no estado limpo, no qual observou-se uma sensibilidade significativa às condições ambientais, destacando a importância desses fatores. Na comparação entre pavimentos limpos e colmatados, verificou-se que, os pavimentos limpos apresentassem temperaturas de superfície ligeiramente superiores durante a exposição solar, os pavimentos colmatados tiveram o resfriamento mais rápido. Já a análise da condutividade térmica revelou uma discrepância entre pavimentos no estado limpo e colmatado, evidenciando a influência da colmatção na capacidade térmica do material. A presença de areia como material colmatante diminuiu o índice de vazios, aumentando a condutividade térmica, a qual tem relação direta com o aquecimento e a dissipação de calor. No ensaio de evaporação, as placas colmatadas apresentaram uma massa evaporada ligeiramente superior em comparação com as placas limpas, esse aumento na massa evaporada foi atribuído à capacidade da areia colmatante de reter água entre seus vazios. Portanto, os resultados sugerem que a colmatção trouxe resultados melhores quando comparado com o pavimento no estado limpo nos quesitos de desempenho térmico e evaporativo.

Palavras-chave: Ilhas de Calor Urbanas; Concreto poroso; Comportamento térmico; Colmatção.

ABSTRACT

The accelerated and unplanned growth of cities has led to the sealing of soils and, consequently, aggravated problems such as the Urban Heat Island effect (UHI). In this context, porous concrete paving represents a sustainable alternative, as it controls rainwater runoff and has a high albedo, a property that quantifies the amount of light reflected by the surface. Clogging is a phenomenon that involves the obstruction of the pores of the porous concrete, which occurs due to the entry of sediments and leads to the loss of the useful path of the porous concrete flooring. Therefore, this study aims to analyze the effects of clogging on porous concrete pavements, focusing on thermal behavior, thermal conductivity and evaporative process. Initially, the influence of air temperature and relative humidity on the surface temperatures of porous concrete pavements in the clean state was analysed, in which a significant sensitivity to environmental conditions was observed, highlighting the importance of these factors. Comparing clean and clogged sidewalks, it was found that while clean sidewalks had slightly higher surface temperatures during sun exposure, clogged sidewalks cooled faster. Thermal conductivity analysis highlighted a discrepancy between floors in a clean and clogged state, highlighting the influence of clogging on the heat capacity of the material. The presence of sand as a sealing material reduced the void content, increasing thermal conductivity, which is directly related to heating and heat dissipation. In the evaporation test, the clogged plates showed a slightly higher evaporated mass than the clean plates, this increase in evaporated mass was attributed to the clogged sand's ability to retain water between its voids. Therefore, the results suggest that clogging brought better results than pavement in the clean state in terms of thermal and evaporative performance.

Keywords: Urban Heat Islands, Porous concrete; Thermal behavior; Clogging.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS	16
FIGURA 2- COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DECORRENTE DA URBANIZAÇÃO NA CIDADE DE SOBRAL (CE) NOS RESPECTIVOS ANOS DE A) 1987 E B) 2020	18
FIGURA 3- CO OCORRÊNCIAS DE PALAVRAS-CHAVE.	23
FIGURA 4 – ANÁLISE TEMPORAL DE PALAVRAS-CHAVE.....	23
FIGURA 5 - DENSIDADE DAS PALAVRAS-CHAVE	24
FIGURA 6-TIPOS PREDOMINANTES DE SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA POR MUNICÍPIOS BRASILEIROS	26
FIGURA 7 - SISTEMA DE INFILTRAÇÃO NO SOLO DA ÁGUA DRENADA PELAS PLACAS DE CONCRETO POROSO: (A) INFILTRAÇÃO TOTAL NO SOLO; (B) INFILTRAÇÃO PARCIAL NO SOLO, ONDE PARTE DA ÁGUA É TRANSPORTADA PELO DRENO; (C) SEM INFILTRAÇÃO NO SOLO, A ÁGUA É TRANSPORTADA APENAS PELO DRENO.....	27
FIGURA 8 - RELAÇÃO ENTRE CONDUTIVIDADE TÉRMICA E POROSIDADE DO PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO.....	30
FIGURA 9 – ESTRUTURA DO PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO	31
FIGURA 10 - TEXTURA DO PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO	32
FIGURA 11 – RELAÇÃO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE E ÍNDICE DE VAZIOS	33
FIGURA 12 - TEMPERATURAS DE PICO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO EM CONDIÇÃO:	36
FIGURA 13 -RELAÇÃO CAMADA DO PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO E A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR	37
FIGURA 14 - COLMATAÇÃO NO PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO	38
FIGURA 15 - Os CAMINHOS ORIUNDOS DA TORTUOSIDADE DENTRO DA ESTRUTURA DO CONCRETO POROSO.....	39
FIGURA 16 - RELAÇÃO DA PERDA DE PERMEABILIDADE DO CONCRETO POROSO COM A AREIA COMO MATERIAL COLMATANTE NO DECORRER DOS CICLOS DE COLMATAÇÃO	40
FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA UTILIZADA NESSE ESTUDO.....	42
FIGURA 18- RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE VARIADAS TIPOLOGIAS DE CIMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO	43
FIGURA 19 - GRANULOMETRIA DO AGREGADO MIÚDO QUE COMPÕE AS PLACAS DE CONCRETO POROSO.....	44
FIGURA 20 GRANULOMETRIA DO AGREGADO GRAÚDO QUE COMPÕE AS PLACAS DE CONCRETO POROSO.....	44
FIGURA 21-PROCEDIMENTO PARA A CARACTERIZAÇÃO SEGUNDO NBR 9778: (A) PLACAS EM	

ESTUFA; (B) AFERIÇÃO DO PESO DA PLACA IMERSA EM ÁGUA PELA BALANÇA HIDROSTÁTICA; (C) AFERIÇÃO DO PESO DA PLACA.....	46
FIGURA 22- GRANULOMETRIA DA AREIA UTILIZADA COMO MATERIAL COLMATANTE	48
FIGURA 23-ESTRUTURA UTILIZADA PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE COLMATAÇÃO	49
FIGURA 24-INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO PARA O ENSAIO DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE: (A) TERMÔMETRO DE PISTOLA LASER; (B) CÂMERA TERMOGRÁFICA; (C) TERMOHIGRÔMETRO	49
FIGURA 25 - CONFIGURAÇÃO DO ENSAIO DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO LIMPAS E COLMATADAS	51
FIGURA 26 - TESTE DE EVAPORAÇÃO EM PLACAS DE CONCRETO POROSO	57
FIGURA 27 - PESAGEM DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO (PCP) CONFORME A NBR 9778:2005	58
FIGURA 28 - RESULTADOS DE MASSA ESPECÍFICA OBTIDOS PELA NBR 9778:2005	59
FIGURA 29 - ÍNDICE DE VAZIOS E ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO SEGUNDO A NBR 9778:2005	59
FIGURA 30- COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO LIMPAS E APÓS COLMATAÇÃO	60
FIGURA 31 - COMPORTAMENTO TÉRMICO DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO QUANDO SUBMETIDOS À RADIAÇÃO SOLAR	62
FIGURA 32 – COMPARATIVO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO DIANTE A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E DA UMIDADE RELATIVA	62
FIGURA 33 - TEMPERATURA DE SUPERFICIAL DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO NO ESTADO LIMPO E COLMATADO	63
FIGURA 34 - EXPOSIÇÃO DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO NO ESTADO LIMPO (PLACAS SUPERIORES) E COLMATADO (PLACAS INFERIORES) AO SOL NO DECORRER DO DIA: (A) 9:30H; (B) 10:30H; (C) 11:30H.....	64
FIGURA 35- MASSA DE EVAPORAÇÃO CUMULATIVA DAS PLACAS NO ESTADO LIMPO E COLMATADO E A TEMPERATURA DO AR NO INTERIOR DA CAIXA	68
FIGURA 36- MASSA DE EVAPORAÇÃO CUMULATIVA DAS PLACAS NO ESTADO LIMPO E COLMATADO E A UMIDADE RELATIVA DO AR NO INTERIOR DA CAIXA	69

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS POLOS DE PESQUISA _____	24
TABELA 2 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE PAVIMENTOS _____	28
TABELA 3 – ENSAIOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DO PAVIMENTO DE CONCRETO POROSO _____	31
TABELA 4 - ESPESSURA MÍNIMA DO PAVIMENTO E RESISTÊNCIA AOS ESFORÇOS _____	34
TABELA 5-TRAÇO UNITÁRIO EM MASSA _____	45
TABELA 6 - RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO _____	45
TABELA 7 – DADOS DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE ADAPTADO DA NBR 16416 _____	47
TABELA 8 - COMPARATIVO ENTRE A QUANTIDADE DE ÁGUA E AREIA COLMATANTE NO ESTUDO DE MATA (2008) E NESTE ESTUDO _____	49
TABELA 9 - PROPORÇÕES DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS SEIS PLACAS DE CONCRETO POROSO _____	53
TABELA 10 – CONDUTIVIDADE TÉRMICA DOS COMPONENTES DO CONCRETO POROSO _____	53
TABELA 11 – MASSA DAS PLACAS DE CONCRETO POROSO APÓS A REALIZAÇÃO DO PROCESSO DE COLMATAÇÃO _____	53
TABELA 12 – PROPORÇÃO MÉDIA DE MATERIAL NAS PLACAS DE CONCRETO POROSO COLMATADAS _____	55
TABELA 13 - ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO MATERIAL COLMATANTE PELA NBR 16972:2021 _____	65
TABELA 14 - ÍNDICE DE VAZIOS APÓS A COLMATAÇÃO _____	66
TABELA 15 - COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA PREVISTO PARA O CONCRETO POROSO _____	66
TABELA 16 - COEFICIENTES DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA DO CONCRETO POROSO _____	67

Sumário

AGRADECIMENTOS	5
RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Problema de Pesquisa	18
1.2 Justificativa.....	19
1.3 Questões Motivadoras	20
2. OBJETIVOS.....	Erro! Indicador não definido.
2.1 Objetivo Geral	21
2.2 Objetivos específicos.....	21
3. LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO	22
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
4.1 Concreto Poroso como Instrumento de Drenagem Urbana	25
4.2 Caracterização do Concreto Poroso	29
4.2.1 Constituintes do Concreto Poroso – Dosagem e Agregados	32
4.2.2 Resistência à compressão e à flexão do pavimento de concreto poroso.....	33
4.3 Mitigação da Formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICUs) através do Uso de Pavimentos de Concreto Porosos	35
4.4 A Importância da Coleta de Dados de Temperatura do Pavimento de Concreto Poroso	40
4.5 Colmatação do Pavimento Permeável e Consequência na Formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICUs)	37
5. MATERIAIS E MÉTODOS	42
5.1 Moldagem das Placas de Concreto Poroso	42
5.2 Caracterização das Placas de Concreto Poroso.....	45
5.3 Colmatação das Placas de Concreto Poroso.....	47
5.4 Investigação da Variação da Temperatura Superficial para Placas de Concreto Poroso ANTES E APÓS COLMATAÇÃO	49
5.5 Análise do Efeito da Colmatação na Condutividade Térmica de Placas de Concreto Poroso.....	51
5.6 Comparação dos índices de evaporação das placas de concreto poroso ANTES E APÓS COLMATAÇÃO	55
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	58

6.1	Resultados dos Ensaios de Caracterização das Placas de Concreto Poroso	58
6.2	Efeito da irradiação solar na temperatura de superfície de pavimentos em concreto poroso	60
6.3	Variação da temperatura de superfície do pavimento de concreto poroso ANTES E APÓS COLMATAÇÃO quando submetido à radiação solar	63
6.4	Efeito da colmatação na condutividade térmica de pavimentos em concreto poroso.....	65
6.5	Impacto da colmatação no processo evaporativo em pavimentos de concreto poroso.....	67
7.	CONCLUSÕES e SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	APÊNDICE	80

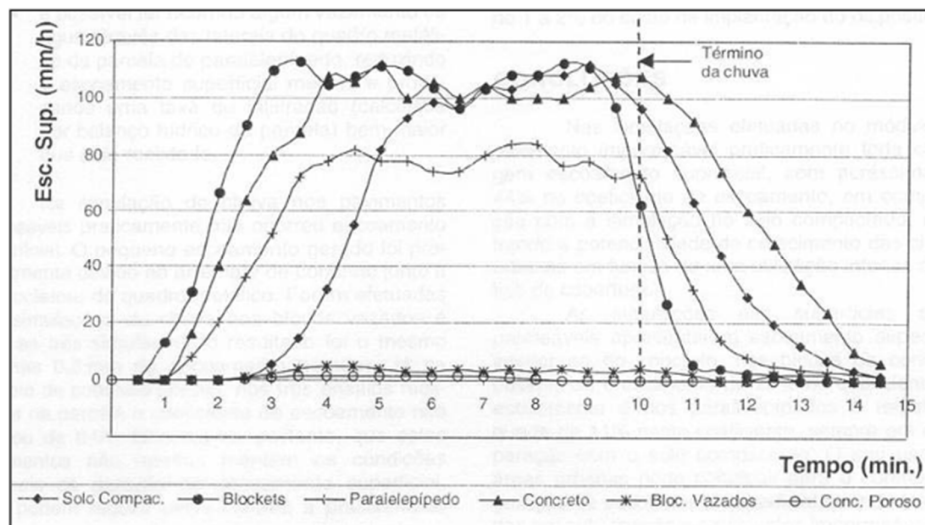
1. INTRODUÇÃO

As Ilhas de Calor Urbanas (ICUs) são um fenômeno que se caracteriza pelo aumento da temperatura de áreas urbanizadas em comparação com as suas áreas de entorno. O aumento dos seus efeitos representa uma consequência do contínuo processo de redução da permeabilidade dos solos (Taleghani, 2018; Wang *et al.*, 2018).

O pavimento de concreto poroso, a partir do aumento da infiltração da água no solo, diminui o escoamento de águas pluviais. Não obstante, esse material auxilia no controle dos efeitos das ICUs devido ao processo de evaporação da água presente nos poros do pavimento (Liu *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2022).

Nesse contexto, o pavimento de concreto poroso destaca-se como uma alternativa de revestimento mais eficaz no controle de escoamento superficial em comparação ao asfáltico e a outros materiais de baixa permeabilidade. Essa relação pode ser observada na Figura 1. No entanto, a permeabilidade deste pavimento pode ser comprometida devido à colmatagem dos poros que se trata da obstrução dos mesmos que ocorre devido à entrada de sedimentos e partículas orgânicas sob a ação do fluxo de água, o que limita a permeabilidade do concreto poroso (Yuan *et al.*, 2018)

Figura 1 -Escoamento superficial em diferentes tipos de pavimentos



Fonte: Adaptado Acioli (2015).

Os benefícios do uso de concreto poroso têm tornado o uso desse pavimento atrativo, uma vez que permite a infiltração da água no solo e minimiza a formação de microclimas (Merten *et al.*, 2022.). A porosidade do pavimento em concreto poroso auxilia na sua baixa condutividade térmica (Bezerra, 2003). Segundo a ABNT NBR 15220:2005, a condutividade térmica é o fluxo de calor constante, sendo essa uma propriedade física de materiais que são homogêneos e isotrópicos. Dessa forma, devido à presença de ar no interior dos poros do pavimento de concreto poroso, e devido à baixa condutividade do ar, ou seja, o pavimento de concreto poroso apresenta menor habilidade de conduzir energia térmica (Nassiri; Natansai, 2017; Hendel *et al.*, 2018).

A análise das propriedades térmicas dos pavimentos de concreto poroso é importante para avaliar o impacto dessas estruturas na mitigação dos efeitos da formação das ICUs (Wang *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2019). A obtenção da condutividade térmica para o concreto poroso, através de ensaios de laboratório, auxilia no entendimento sobre a relação entre a estrutura interna do material (índice de vazios e estrutura de agregados) e as propriedades térmicas do pavimento (Chen *et al.*, 2019).

A relevância do nível de colmatação do concreto poroso para a variação da temperatura de superfície está fundamentada no impacto que este pode causar na absorção d'água, uma vez que a absorção d'água possui relação inversa com a taxa de aumento da temperatura no pavimento (Wang *et al.*, 2018). O resfriamento pela evaporação em pavimentos de concreto poroso é responsável pela minimização dos efeitos das ICUs (Wang *et al.*, 2018). Com o tempo e o uso do pavimento permeável esse tende a tornar-se obstruído/colmatado (EPA, 1999). Portanto, deve-se levar em consideração que quanto mais próxima a lâmina d'água estiver do topo do pavimento (de 0 a 25 mm), mais significativo é o resfriamento por evaporação quando comparado com a absorção de água nos poros mais profundos (a partir de 76mm) (Qin e Hiller, 2016).

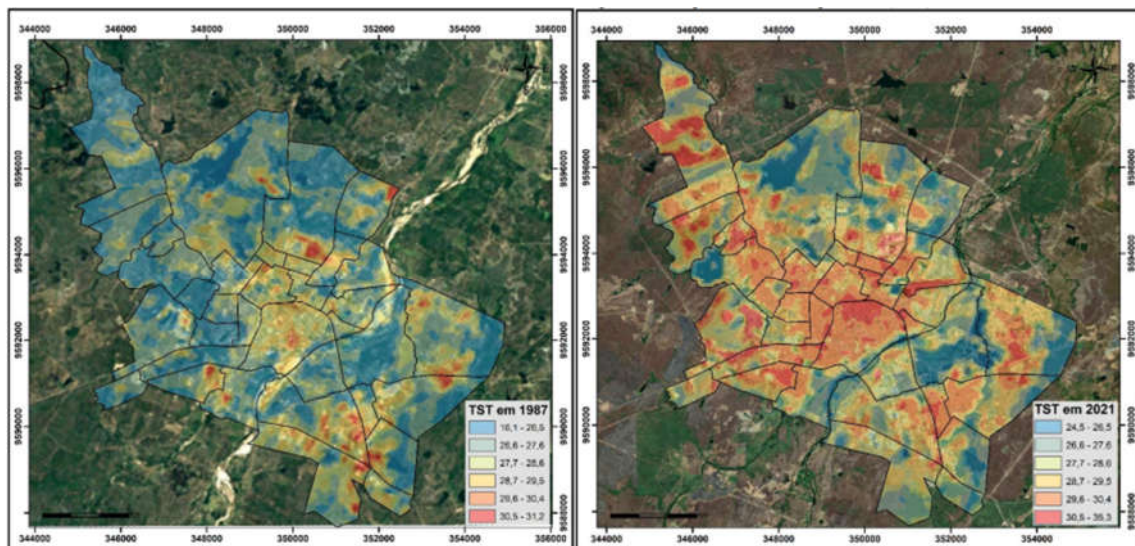
A investigação sobre o comportamento térmico do pavimento de concreto poroso é uma estratégia para promoção de um ambiente urbano mais confortável e sustentável. Nesse sentido, o uso de pavimentos porosos, como o de concreto permeável, pode ser eficiente na mitigação do efeito de ICU (Peixoto *et al.*, 2023). As

propriedades térmicas dos materiais que compõem a camada de revestimento do pavimento e o seu albedo, sendo esse último o percentual de emissão de reflexividade da luz solar emitida por uma superfície, são fatores que contribuem para a mitigação dos efeitos da formação de microclimas (Chen *et al.*, 2019).

1.1 Problema de Pesquisa

A crescente urbanização provoca a substituição de superfícies naturais por solos de baixa permeabilidade, que representam mais de 30% das áreas urbanas (Akbari; Matthews 2012). Como exemplo, a Figura 2 apresenta um comparativo da temperatura de superfície de Sobral (CE), o qual mostra que a temperatura de superfície do município em 2021 é mais quente do que a temperatura de superfície de 1987. Ao verificar esse fato ao se analisar a curva de cores que indica uma relação entre essas temperaturas e o perfil das construções, vias e outras estruturas na paisagem, sugerindo que regiões mais intensamente urbanizadas têm uma maior probabilidade de desenvolver altas temperaturas superficiais (Brasileiro; Zanella 2021)

Figura 2- Comparação da temperatura de superfície decorrente da urbanização na cidade de Sobral (CE) nos respectivos anos de a) 1987 e b) 2020



Fonte adaptado: Brasileiro e Zanella (2021)

A baixa permeabilidade do solo é um desafio, especialmente com a utilização de pavimentos urbanos tradicionais. Os pavimentos tradicionais são

projetados com inclinações que facilitam o escoamento da água por gravidade, evitando o seu acúmulo, mas a sua superfície reduz a infiltração superficial. Nesse contexto, a elevada velocidade do resultante escoamento pluvial pode causar erosão, alargamento de canais, sedimentação, inundação e disseminação de poluentes em áreas a jusante, sendo esses efeitos uma consequência direta da redução da permeabilidade do solo e suas implicações negativas para o ambiente (Kováč; Sicáková, 2017). A urbanização desordenada é uma força motriz que afeta o escoamento superficial, como mencionado por Chen *et al.* (2017).

Dessa forma, o rápido crescimento populacional, a urbanização e a construção de infraestrutura em larga escala têm levado à substituição de áreas com vegetação permeável por pavimentos baixa permeabilidade, resultando em sistemas de drenagem ineficazes e em alta dissipação de calor, agravando ainda mais os problemas relacionados ao ciclo hidrológico e à sensação térmica nas cidades (Guan *et al.*, 2021). Nesse contexto, o desenvolvimento da infraestrutura urbana tem levado a um aumento considerável na compactação dos solos e, conseqüentemente, das superfícies de baixa permeabilidade, de forma a interromper o ciclo hidrológico, reduzindo a capacidade de infiltração e recarga das águas subterrâneas (Qiao *et al.*, 2020).

Segundo Gioia (2023), há evidências que demonstram que as ICUs acarretam problemas de saúde pública. Problemas respiratórios, doenças cardiovasculares e diarreicas, assim como doenças provenientes de vetores, como a dengue, são mais incidentes em regiões afetadas pelas ICUs.

1.2 Justificativa

Atualmente, a formação de microclimas urbanos representa um desafio ambiental significativo. Os pavimentos de concreto poroso, devido às suas características de alto albedo e capacidade de arrefecimento por evaporação, surgem como uma alternativa promissora para mitigar esses microclimas.

A pesquisa sobre o comportamento térmico desses pavimentos é uma estratégia que tem como fito favorecer o conforto térmico, visando identificar situações em que essa solução possa desempenhar sua funcionalidade com maior eficiência. A

investigação em torno da colmatação, que é um processo natural decorrente do uso e do desgaste dos pavimentos de concreto poroso, é importante para compreender a variação da temperatura de superfície. Entender como a presença de materiais colmatantes influencia essa variação é fundamental para avaliar o desempenho térmico do pavimento.

A condutividade térmica desempenha um importante papel na capacidade do pavimento de absorver, armazenar e liberar calor ao longo do tempo. Investigar como a colmatação influencia essa propriedade térmica é essencial para compreender como o pavimento responde às variações de temperatura e sua capacidade de contribuir para o conforto térmico urbano.

O efeito da colmatação no arrefecimento pela evaporação da superfície do concreto poroso é uma questão crítica para entender como esse pavimento contribui para a redução das ilhas de calor urbanas. Investigar como a colmatação influencia a eficiência do arrefecimento evaporativo é relevante para determinar em que medida a capacidade de resfriamento do pavimento é afetada.

1.3 Questões Motivadoras

As questões motivadoras expostas abaixo servem para validar o impacto que a colmatação acomete o comportamento térmico do pavimento poroso:

- A) Qual a relação da variação na temperatura do ar e na umidade relativa com a temperatura de superfície do concreto poroso? (Selbig e Buer, 2018; Yang *et al.*, 2022; Peixoto *et al.*, 2022)
- B) Qual o impacto da colmatação para a variação da temperatura de superfície em pavimentos de concreto poroso? (EPA, 1999; Mata, 2008; Wang *et al.*, 2018; Peixoto *et al.*, 2022)
- C) Qual a relação da colmatação com a condutividade térmica do pavimento de concreto poroso? (Nassiri e Natansai, 2017; Chen *et al.*, 2019)
- D) Qual o efeito produzido pela colmatação no arrefecimento pela evaporação da superfície de concreto poroso? (Park *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2022)

1.4 Objetivo Geral

Considerando o que foi previamente apresentado, o objetivo geral desta pesquisa é analisar os efeitos da colmatação no desempenho térmico de pavimentos de concreto poroso. Com esse intuito, os objetivos específicos listados abaixo foram estabelecidos.

1.5 Objetivos Específicos

- A) Analisar o efeito da variação da temperatura do ar e da umidade relativa do ar na temperatura de superfície de pavimentos em concreto poroso;
- B) Investigar a temperatura de superfície do pavimento de concreto poroso antes e após colmatação quando submetido à radiação solar;
- C) Analisar o efeito da colmatação na condutividade térmica de pavimentos em concreto poroso;
- D) Avaliar o impacto da colmatação no processo evaporativo em pavimentos de concreto poroso.

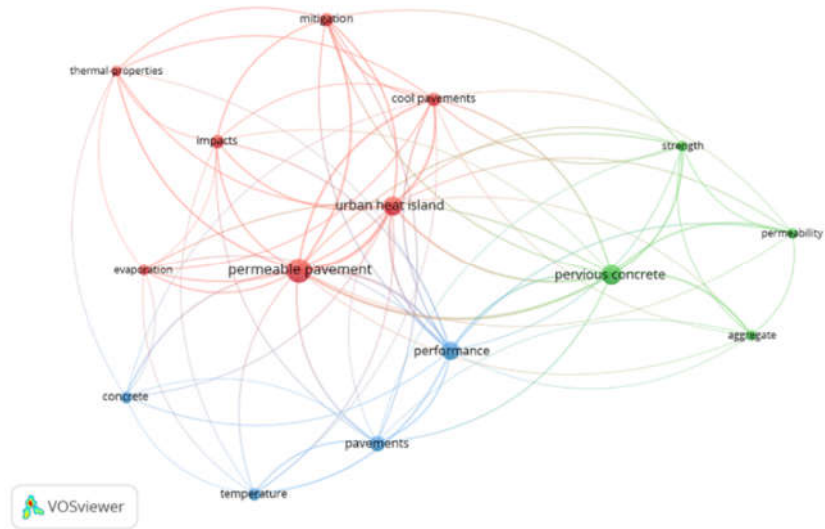
2. LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO

A análise e a quantificação da produção científica relacionada à Análise do Comportamento Térmico de Pavimentos em Concreto Permeável antes e após colmatação forneceram uma melhor compreensão da evolução do tema e de seu desenvolvimento. O levantamento bibliométrico é uma etapa fundamental para a realização de uma pesquisa bibliográfica, para isso foi utilizada a ferramenta *VOSviewer*. O *VOSviewer* é uma ferramenta de visualização de redes que permite a análise através de redes bibliométricas gráficas que representam as conexões entre as citações de autores, as palavras-chave e periódicos em um conjunto de artigos científicos.

Para realizar a análise bibliométrica utilizando a ferramenta *VOSviewer*, foi necessário, primeiramente, obter dados relevantes para a pesquisa, os quais foram coletados no site *Web of Science*. Para isso, foram inseridos, na barra de pesquisa, os seguintes termos: *((Porous concrete pavements OR Permeable concrete pavements OR Open- graded concrete pavements OR Water-absorbing concrete pavements OR Drainable concrete pavements) AND (Urban Heat Island OR Urban heat phenomenon OR Urban thermal island OR Urban thermal anomaly OR Urban heat effect OR Urban heat concentration OR Urban heat dome OR Urban heat signature OR Urban heat pocket OR Urban heat gradient OR Urban heat hotspot))*.

Após realizada a busca no *Web of Science*, foram exportados os dados em formato “txt” para serem utilizados na análise bibliométrica no Excel e no *VOSviewer*. Na Figura 3 é possível identificar os *clusters* que são os subgrupos que as palavras chaves dessa pesquisa pertencem, esses subgrupos aparecem com ligações de mesma cor.

Figura 3- Co ocorrências de Palavras-chave.



Fonte: Autora (2023)

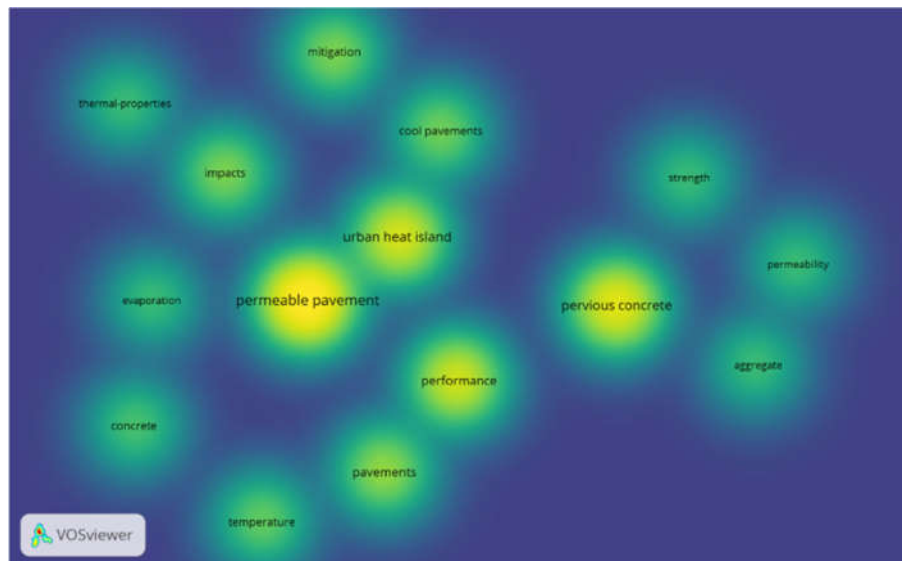
A Figura 4 possibilita verificar a análise temporal dos termos, mostrando quais termos têm sido mais publicados recentemente. Outrossim, é possível ver a densidade dos termos, ou seja, quais têm o maior número de pesquisa atrelado. Com isso, verifica-se concreto poroso e ICUs são termos bastante utilizados em estudos e pesquisas relacionadas ao tema, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 4 – Análise temporal de Palavras-chave.



Fonte: Autora (2023)

Figura 5 - Densidade das Palavras-chave



Fonte: Autora (2023)

A identificação das universidades, conforme apresentado na Tabela 1, com maior produção científica na área de pesquisa auxilia no mapeamento de potenciais contribuições, bem como para o estabelecimento de futuras parcerias internacionais.

Tabela 1 - Principais Polos de Pesquisa

Universidades (País)	Qtd citações	Qtd publicações
Universidade de Quancim (China)	494	3
Universidade Estadual do Arizona (Estados Unidos)	162	3
Southeast University (Bangladesh)	158	2
Universidade da Malásia (Malásia)	94	2
Central South University (China)	89	2
La Sapienza (Itália)	89	2

Fonte: Autora (2023)

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo visa explorar conceitos relacionados aos pavimentos de concreto poroso. Nesse contexto, destaca-se o concreto poroso como uma estrutura com propriedades drenantes, que pode desempenhar papel fundamental na mitigação dos efeitos das ICUs. Além disso, são apresentadas informações para a caracterização do concreto poroso, incluindo informações sobre sua resistência. O capítulo também discute a questão da colmatação e ressalta a importância de investigar a temperatura de superfície nesse tipo de pavimento.

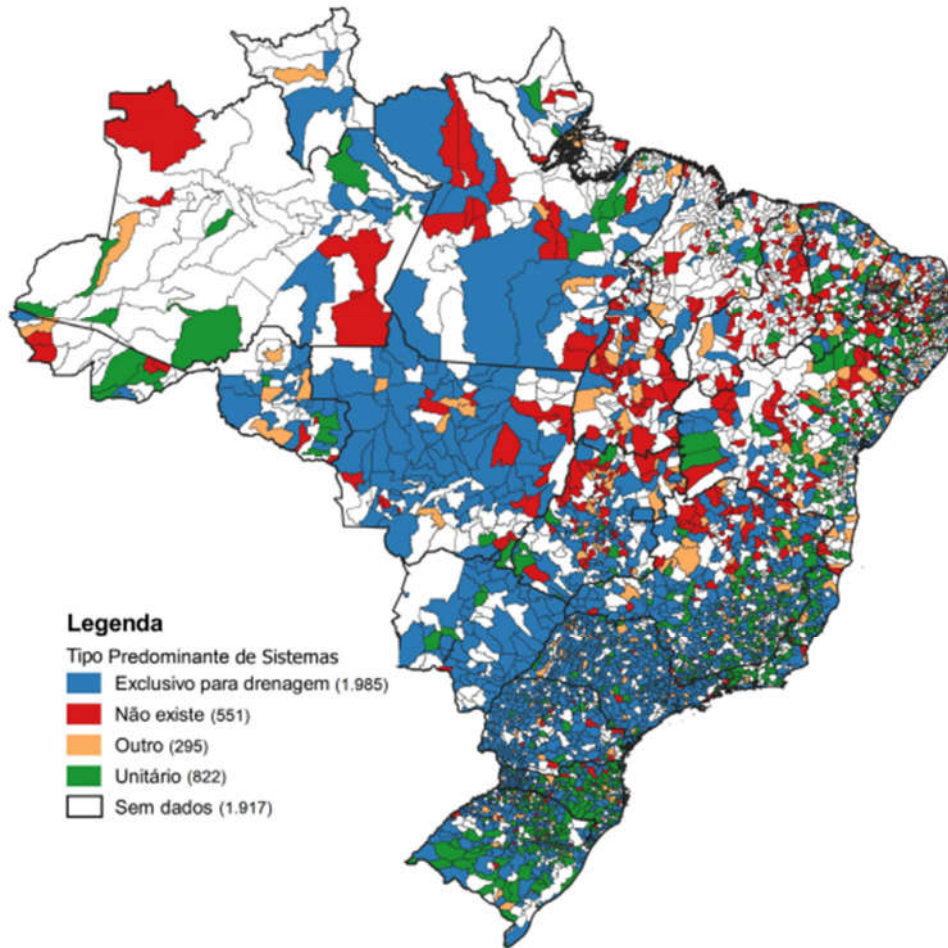
3.1 Concreto Poroso como Instrumento de Drenagem Urbana

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o uso mais eficiente da água em seus diversos setores de utilização consiste em uma das metas traçadas pela Organização das Nações Unidas (ONU) a fim de obter um abastecimento sustentável de água que permita auxiliar no enfrentamento da escassez hídrica, conforme descrito no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) de número 6 - Água Potável e Saneamento. Atualmente, o Brasil também passou a se preocupar com essa vertente e se comprometeu a otimizar o uso da água até 2030, tendo em vista que o país enfrenta desafios relacionados ao sistema de saneamento básico. Conforme exposto na Figura 6, é possível perceber que uma grande parcela dos municípios das regiões Norte e Nordeste não apresentam drenagem urbana, o qual está identificado na coloração vermelha (Mendes; Santos, 2019).

De acordo com Tucci (2014), a drenagem urbana é um conjunto de ações que tem como objetivo proporcionar desenvolvimento urbano equilibrado e sustentável, buscando atenuar os danos causados pelas inundações provenientes da urbanização acelerada. Nesse contexto, é relevante considerar as observações delineadas no ODS 13 - Ação contra a mudança global do clima. Este ODS incorpora as diretrizes do Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, estabelecendo metas para prevenir e responder a desastres naturais, como enchentes. É válido ressaltar que essa situação pode ser agravada pelas mudanças climáticas e pela ocupação inadequada do solo, com o Brasil comprometido com esse acordo

internacional (Peliano; Chaves, 2019).

Figura 6-Tipos predominantes de sistemas de drenagem urbana por municípios brasileiros



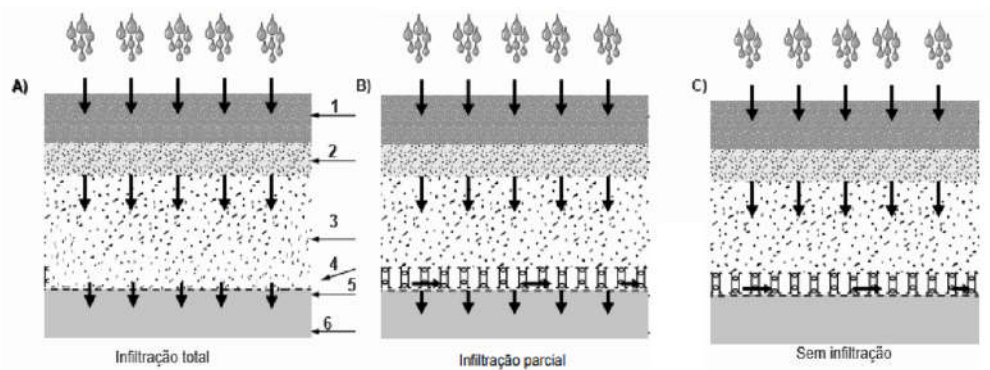
Fonte: Mendes e Santos (2019).

Além disso, outro desafio significativo encontrado é em relação a pouca permeabilidade do solo das áreas urbanas devido a ocupação distribuída ou adensada de maneira insuficiente. A diminuição das áreas verdes resulta na redução das áreas permeáveis de infiltração e, conseqüentemente, no aumento do escoamento superficial, sendo esse um agente causador de desastres naturais (Gutierrez; Ramos 2019). Palanisamy e Chui (2015) destacam que o desenvolvimento de técnicas de baixo impacto, que tem como sigla em inglês LID (*Low Impact Development*), é essencial para restaurar os processos de fluxo natural e aumentar a remoção de

nutrientes no escoamento urbano.

Dentre as técnicas de baixo impacto, os pavimentos de concreto poroso desempenham papel fundamental. Com isso, esses pavimentos que diminuem o tempo de escoamento da água, através da infiltração dessa em seus poros, espaços livres em sua estrutura, por onde a água pode escoar, podendo infiltrar no solo ou ser transportada através de sistema auxiliar de drenagem, como mostra a Figura 7 (Mata, 2001; Gutierrez & Ramos, 2019).

Figura 7 - Sistema de infiltração no solo da água drenada pelas placas de concreto poroso: (a) Infiltração total no solo; (b) Infiltração parcial no solo, onde parte da água é transportada pelo dreno; (c) Sem infiltração no solo, a água é transportada apenas pelo dreno.



- 1 - Revestimento permeável (peças, placas ou concreto permeável)
- 2 - Camada de assentamento (apenas para revestimento c/ peças e placas)
- 3 - Base permeável
- 4 - Dreno
- 5 - Manta geotêxtil (opcional)
- 6 - Subleito

Fonte Adaptada: ABNT NBR 16416:2015

O uso de pavimentos permeáveis pode simplificar o sistema de drenagem e auxiliar no gerenciamento do escoamento das águas pluviais, reduzindo os custos de infraestrutura (Moretti *et al.*, 2019). A permeabilidade dos pavimentos depende dos materiais utilizados na composição dos mesmos, assim como dos métodos de moldagem e compactação, pois essa propriedade reflete a facilidade que a água tem

de penetrar dentro da estrutura (Tong, 2011).

A função primordial de um pavimento permeável consiste em captar uma porção da água que escoar superficialmente, permitindo sua absorção pelo solo sempre que possível. Quando não viável, busca-se direcioná-la de maneira controlada a jusante, evitando a ocorrência de erosão (Balbo, 2021). O pavimento de concreto poroso tem sido aplicado amplamente na China, uma vez que representa uma solução para o controle do escoamento superficial das águas das chuvas pois diminuem o escoamento e retêm a água pluvial nos seus poros, as cidades com essas características são chamadas de “cidades esponjas” (Li *et al.*, 2022).

A eficácia do pavimento de concreto poroso nesse contexto é impulsionada pela capacidade de drenagem, permitindo a gestão eficiente das águas pluviais. Além disso, a elevada refletância da luz solar, conhecida como albedo, contribui para reduzir a absorção de calor, promovendo um ambiente mais fresco. O albedo do concreto poroso varia de 0,1 à 0,35 em detrimento com o albedo do pavimento alfáltico que varia de 0,05 à 0,2, dessa forma o concreto poroso apresenta em média de 80% maior reflexividade quando comparado ao pavimento asfáltico (Alves e Vecchia, 2012). Outro fator relevante é o processo de resfriamento por evaporação, no qual a presença de água nos poros do pavimento facilita a dissipação térmica após períodos de chuva. (Palanisamy e Chui, 2015; Bonicelli e Pianeta, 2019). Adicionalmente, esses pavimentos também contribuem para a dissipação do calor devido à sua baixa condutividade térmica devido a quantidade de ar no interior de seus poros, como mostra a Tabela 2 (Kowalski, 2019).

Tabela 2 - Condutividade térmica de pavimentos

Materiais	Condutividade Térmica (W/mK)	Referências
Intertravado	1,33 - 1,95	Yahaya e Nordin (2010)
Asfalto	1,55 - 2,06	Hendel <i>et al.</i> (2018)
Concreto de Cimento Portland	1,14-2,01	Hendel <i>et al.</i> (2018)
Concreto poroso	0,43-0,82	Nassiri e Nantasai (2017); Chen <i>et al.</i> (2019)
Areia	1,12-1,28	Hendel <i>et al.</i> (2018)

Fonte: Autora (2023)

3.2 Caracterização do Concreto Poroso

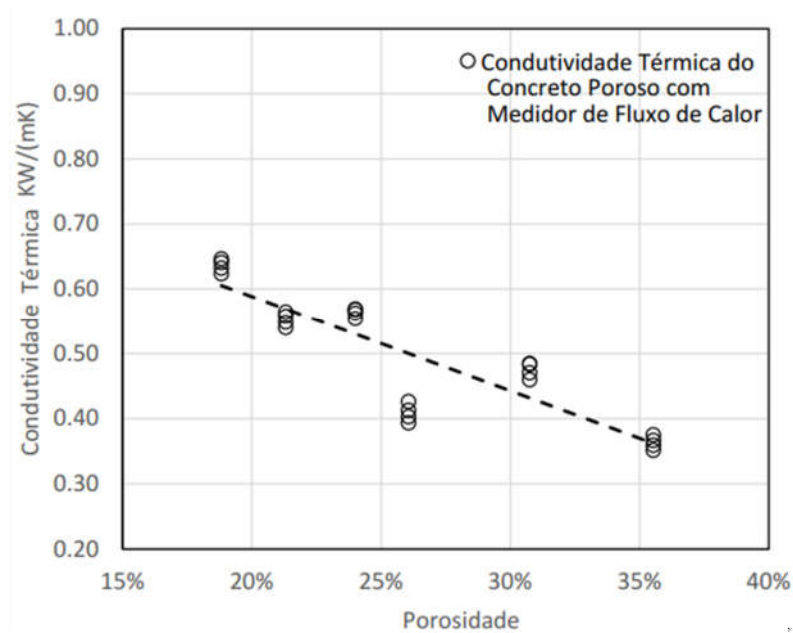
O pavimento de concreto poroso é categorizado como pavimento rígido conforme as diretrizes estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Este tipo de pavimento possui a capacidade de absorver quase todos os esforços provenientes do rolamento de pneus ou da passagem de pessoas, transferindo minimamente carga para as camadas adjacentes.

Segundo Teixeira (2020), o concreto poroso muito se destaca pela sua capacidade drenante, propriedade que está diretamente ligada à porosidade do material que retrata o seu índice de vazios. O concreto poroso destaca-se como uma solução para a gestão eficiente das águas pluviais, visto que sua estrutura é projetada para promover uma rápida infiltração da água superficial. Essa capacidade é viabilizada pelos poros interconectados que permeiam o pavimento, representando uma significativa porcentagem, entre 15% e 35%, da estrutura total (Tong, 2011).

De acordo com Ferguson (2015), o concreto poroso é formado pela combinação de agregados de granulometria aberta com cimento Portland, sendo este composto principalmente por agregados graúdos, enquanto o cimento desempenha o papel de ligar essas partículas. Contrariamente às suas propriedades mecânicas, a eficácia hidráulica do concreto permeável é aprimorada pela presença de espaços vazios, os quais possibilitam a infiltração. Essa característica confere ao concreto a capacidade de controlar o escoamento pluvial e contribuir para a gestão eficiente da água (Teixeira, 2020).

Além disso, destaca-se a relevância da porosidade no pavimento de concreto poroso para alcançar uma condutividade térmica reduzida. Conforme evidenciado por estudos, como aqueles realizados por Bezerra (2003) e Chen *et al.* (2019), há uma tendência de diminuição na condutividade térmica à medida que a porosidade do concreto aumenta, uma vez que a condutividade térmica do ar é menor do que a condutividade térmica do concreto. Essa relação entre a condutividade térmica e a quantidade de vazios, ou seja, a porosidade do pavimento de concreto poroso, demonstra ser inversamente proporcional, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Relação entre condutividade térmica e porosidade do pavimento de concreto poroso



Fonte: Adaptada Nassiri e Nantasai (2017)

De acordo com as prescrições da ABNT NBR 16416: 2015 *Pavimentos permeáveis de concreto — Requisitos e procedimentos*, o pavimento de concreto poroso é concebido como um revestimento permeável, conferindo-lhe a capacidade de permitir a percolação da água através de peças de concreto. O projeto desse tipo de pavimento exige considerações particulares, levando em conta o uso pretendido e a localização de sua implementação. A norma estabelece que as áreas que contêm o pavimento de concreto poroso devem possuir uma superfície integralmente drenante. Para atender a esse requisito, a ABNT NBR 16416:2015 prescreve ensaio para comprovar a eficácia da drenagem do concreto poroso, sendo esse apresentado na Tabela 3.

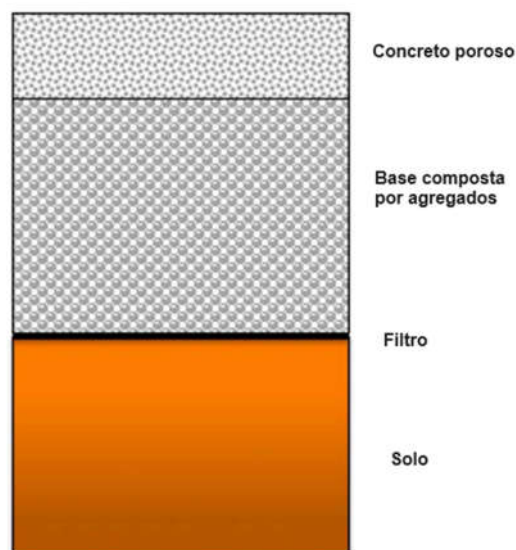
Segundo Mata (2008), a estrutura específica do concreto poroso, visualizada na Figura 9, oferece a possibilidade de contar com um filtro e uma base de agregado, embora essa configuração não seja uma obrigatoriedade. A presença desses elementos na estrutura do concreto poroso desempenha papel significativo, especialmente ao considerar sua função em evitar o transporte de sedimentos finos para a camada do subleito do solo.

Tabela 3 – Ensaio para a caracterização do coeficiente de permeabilidade do pavimento de concreto poroso

Revestimento	Método de Ensaio		Coeficiente de permeabilidade do pavimento recém-construído m/s
	Em laboratório	Em campo	
Peça de concreto permeável	ABNT NBR 13292 ou Anexo A - NBR 16416:2015	Anexo A - NBR 16416:2015	$>10^{-3}$
Concreto permeável moldado no local			

Fonte: Adaptada ABNT NBR 16416: 2015

Figura 9 – Estrutura do pavimento de concreto poroso



Fonte: Adaptada Mata (2008)

O concreto poroso é composto por agregados graúdos na faixa de 9,5 mm a 12,5 mm e uma quantidade limitada ou inexistente de agregado miúdo, confere a esse material uma textura rugosa, conforme ilustrado na Figura 10, a qual é responsável por melhorar a resistência ao deslizamento, pois provoca um aumento no coeficiente de atrito (Teixeira, 2020). Esse aspecto é particularmente vantajoso na

aplicação do concreto permeável em pavimentação, pois contribui para a segurança viária. A textura rugosa reduz o tempo necessário para frenagem, proporcionando maior aderência, e, ao mesmo tempo, mitiga os efeitos adversos como ofuscamento e aquaplanagem. Essas características combinadas do material colaboram de maneira significativa para elevar os padrões de segurança nas vias urbanas (Balbo,2021).

Figura 10 - Textura do pavimento de concreto poroso



Fonte: Teixeira (2020)

3.2.1 Constituintes do Concreto Poroso – Dosagem e Agregados

De acordo com Kia *et al.* (2017), a literatura apresenta uma ampla variação nas proporções de massa para o traço de concreto poroso. Essas variações podem compreender desde a relação de 1:0,73:0,2 (Cimento: Agregado Graúdo: a/c) até 1:4:0,14:0,5 (Cimento: Agregado Graúdo: Agregado Miúdo: a/c).

Segundo Ferguson (2015), o concreto poroso contém os mesmos componentes que concreto denso, a distinção reside no fato de que o concreto poroso possui seu traço com um maior percentual de agregados de granulometria aberta, os quais contribuem para a formação de vazios para promover a drenabilidade do pavimento.

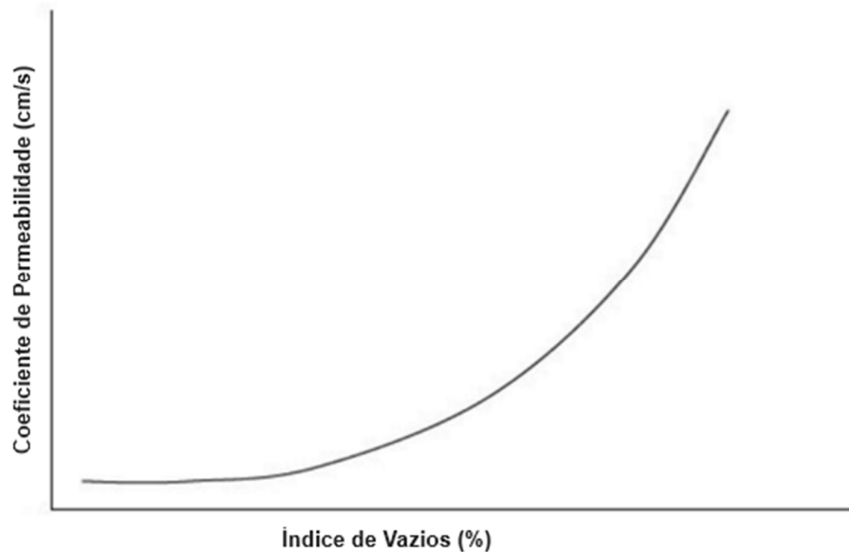
O concreto poroso é essencialmente composto por agregados graúdos, cuja granulometria varia entre 9,05 mm e 12,5 mm. Nesse contexto, os agregados miúdos, embora muitas vezes dispensados ou utilizados em proporções menores, desempenham um importante papel no reforço das propriedades de resistência à compressão e flexão desses pavimentos (Tong, 2008).

O cimento Portland desempenha o papel central como aglomerante nos

pavimentos de concreto poroso. No entanto, é relevante observar que outras variedades de cimento, como CP V-ARI, atuam como alternativas viáveis, sendo adotadas com o intuito de aprimorar as propriedades do concreto poroso (Tennis *et al.*, 2004)

Dessa maneira, a determinação da proporção ideal entre agregados e cimento revela-se como um fator condicionado não apenas pelo propósito específico para o qual o pavimento é destinado, mas também pelas características intrínsecas dos materiais utilizados. Este cenário fundamenta-se na observação de que a fina camada de aglomerante, que envolve os agregados, não deve ser suficiente para preencher completamente os vazios, permitindo, assim, a manutenção de uma permeabilidade mais expressiva no conjunto. Esse fenômeno decorre da relação direta entre o índice de vazios e a permeabilidade, conforme demonstrado na Figura 11 (Tong, 2008)

Figura 11 – Relação coeficiente de permeabilidade e índice de vazios



Fonte: Adaptada Schaefer et al., 2006

3.2.2 Resistência à compressão e à flexão do pavimento de concreto poroso

A porosidade e a resistência dos pavimentos de concreto poroso tendem a variar inversamente, o que implica que melhorias em uma dessas características

resultam em prejuízos na outra (Kia *et al.*, 2017). Assim, o desafio central nas investigações sobre o uso do concreto permeável como revestimento para pavimentação reside na compreensão do impacto da composição estrutural e das técnicas de produção no desempenho do material, uma vez que se busca alcançar um equilíbrio adequado entre as propriedades mecânicas e hidráulicas, assegurando resistência e permeabilidade necessárias para uma aplicação eficaz (Teixeira, 2020).

Com o propósito de regular a resistência aos esforços no pavimento de concreto poroso, a ABNT NBR 16416:2015 estabelece as características de resistência mecânica dos pavimentos de concreto poroso, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4 - Espessura mínima do pavimento e resistência aos esforços

Revestimento	Tipo de Solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de Ensaio
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	≥ 2,0 Resistência à flexão	Ensaio de flexão ABNT NBR 15805:2015
	Tráfego leve	80		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60	≥ 1,0 Resistência à tração na flexão	Ensaio de tração ABNT NBR 12142:2010
	Tráfego leve	100	≥ 2,0 Resistência à tração na flexão	

Fonte Adaptado: ABNT NBR 16416:2015

De acordo com as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 15805:2015 *Pisos elevados de placas de concreto — Requisitos e procedimentos*, o teste de flexão para as placas de concreto poroso é conduzido mediante a aplicação de uma força uniforme com velocidade constante. Essa força deve ser aplicada de forma perpendicular, na região central da face superior da placa de concreto poroso.

Segundo as diretrizes da ABNT NBR 12142:2010 *Concreto* —

Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos, o procedimento para condução do ensaio de resistência à tração na flexão para o concreto permeável moldado *in loco*, envolve a colocação do corpo de prova prismático sobre os apoios, com cuidado para centralizá-lo entre eles. A aplicação da força deve ser executada de maneira contínua e sem impactos, assegurando que o aumento da tensão no corpo de prova esteja dentro da faixa recomendada de 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min. Após a realização do ensaio, efetua-se a medição da seção de ruptura do corpo de prova para determinar as médias de largura e altura.

3.3 Mitigação da Formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICUs) através do Uso de Pavimentos de Concreto Porosos

Segundo estudos realizados por Xie e Zhou (2022), a utilização de pavimentos permeáveis otimiza o desempenho de resfriamento por evaporação e, dessa forma, contribui para a redução das ilhas de calor nas zonas urbanas. Os pavimentos permeáveis permitem que o calor seja dissipado através da evaporação, oferecendo benefícios consideráveis nesse âmbito. Além disso, de acordo com Yang *et al.* (2022), os pavimentos porosos absorvem calor proveniente da radiação solar, acarretando o aumento de sua temperatura superficial e sua contribuição para o efeito de ilha de calor urbano. Esse efeito, porém, pode ser mitigado pela evaporação da água presente na superfície do pavimento.

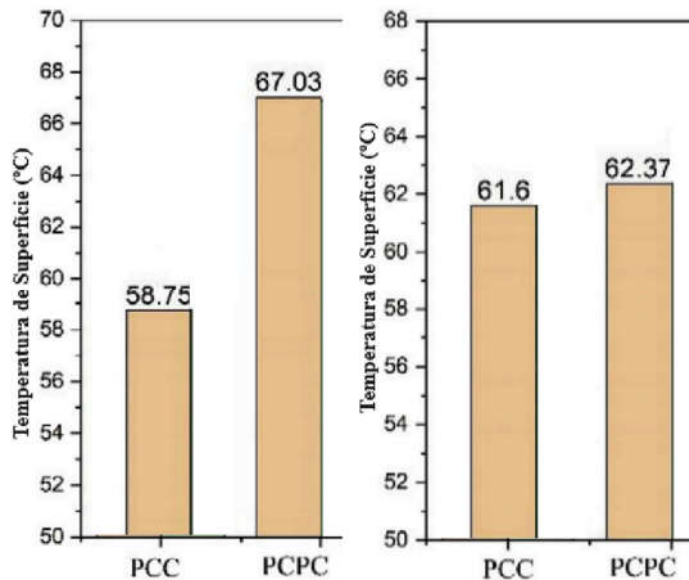
Estudos conduzidos por Chen *et al.* (2019), demonstraram que o pavimento permeável possui variações de temperatura diferentes em condições seca e úmida. Na condição seca, o pavimento poroso apresenta temperatura superficial mais elevada do que os pavimentos convencionais, isso pode ser visto na Figura 12 -a. No entanto, na Figura 12 -b é notável que, em condições úmidas, o pavimento poroso (PCPC, do inglês *Portland Cement Permeable Concrete*) resfria mais rapidamente do que o concreto convencional (PCC, do inglês *Portland Cement Concrete*). Esse comportamento ocorre porque os poros do pavimento de concreto poroso retêm umidade, e essa umidade auxilia na dissipação de calor por meio do processo de evaporação da água.

É importante notar que, conforme ressaltado por Yang *et al.* (2020), a temperatura da superfície do pavimento de concreto poroso é sensivelmente

influenciada pelas condições ambientais circundantes. A interação dinâmica entre o pavimento e o ambiente ao seu redor desempenha papel importante na resposta térmica do concreto poroso, contribuindo para as variações observadas nas temperaturas superficiais. Essa sensibilidade ressalta a complexidade do comportamento térmico do pavimento permeável.

Figura 12 - Temperaturas de pico da superfície do pavimento em condição:

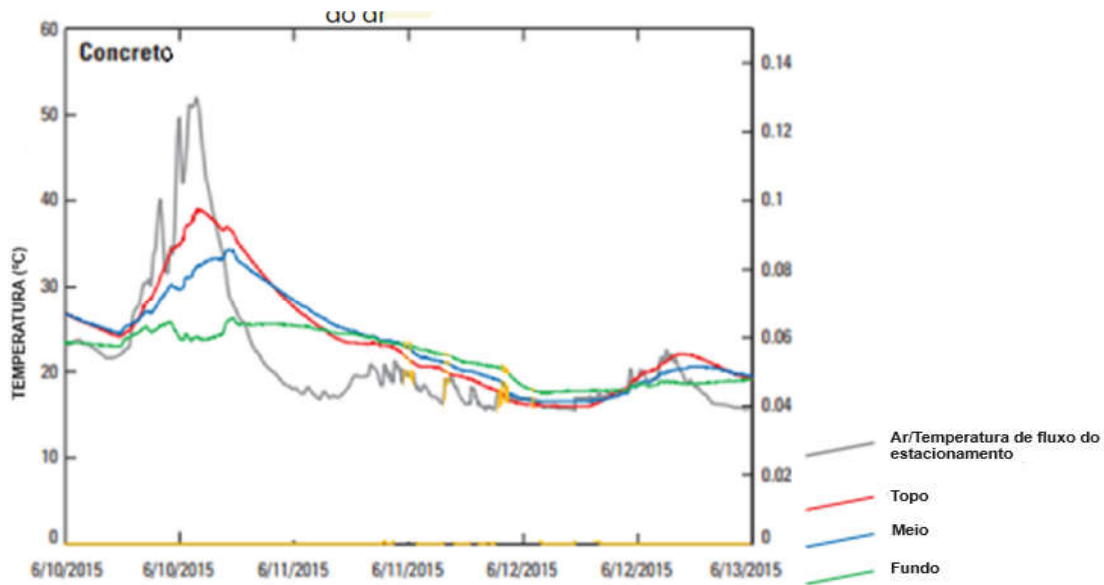
(a) seca; (b) úmida



Fonte: Adaptada Chen (2019)

Os pavimentos de concreto poroso podem absorver o calor oriundo da radiação solar, resultando, dessa forma, no aumento da temperatura da superfície do pavimento que, conseqüentemente, contribui para a formação de ICUs (Yang *et al.*, 2022). Conforme demonstrado por Selbig e Buer (2018), à medida que a temperatura do ar diminui, há uma redução correspondente nas temperaturas da superfície do concreto permeável, a Figura 13 ilustra essa relação. A evaporação d'água da superfície do pavimento utiliza uma parte do calor absorvido para converter a água para o estado gasoso e, com isso, auxilia na mitigação do aquecimento da superfície (Chen *et al.*, 2019). Dessa forma, ao investigar a variação da temperatura superficial em pavimentos de concreto poroso antes e após colmatação é possível compreender como a colmatação afeta a temperatura da superfície do pavimento e, conseqüentemente, a sensação térmica

Figura 13 -Relação camada do pavimento de concreto poroso e a variação da temperatura do ar



Fonte: Adaptada Selbig; Buer (2018)

3.4 Colmatação do Pavimento Permeável e Consequência na Formação de Ilhas de Calor Urbanas (ICUs)

A relação entre a porosidade do pavimento de concreto poroso e sua capacidade de intercâmbio de energia térmica com o ambiente é inversamente proporcional. A presença de vazios no concreto poroso reduz a condutividade térmica do pavimento devido ao ar contido nos poros (Bezerra, 2003). Considerando que o ar possui uma condutividade térmica menor que o concreto, quanto mais poroso for o pavimento, maior será o tempo necessário para dissipar calor ou ganhá-lo. Essa característica é relevante para compreender o comportamento térmico do pavimento de concreto poroso e sua interação com o ambiente circundante (Chen *et al.*, 2019). Dessa forma, evidencia-se que os pavimentos em concreto poroso trazem diversos benefícios para os ambientes, mas os problemas como durabilidade e colmatação ameaçam a eficiência a longo prazo desses pavimentos (Xie *et al.*, 2019).

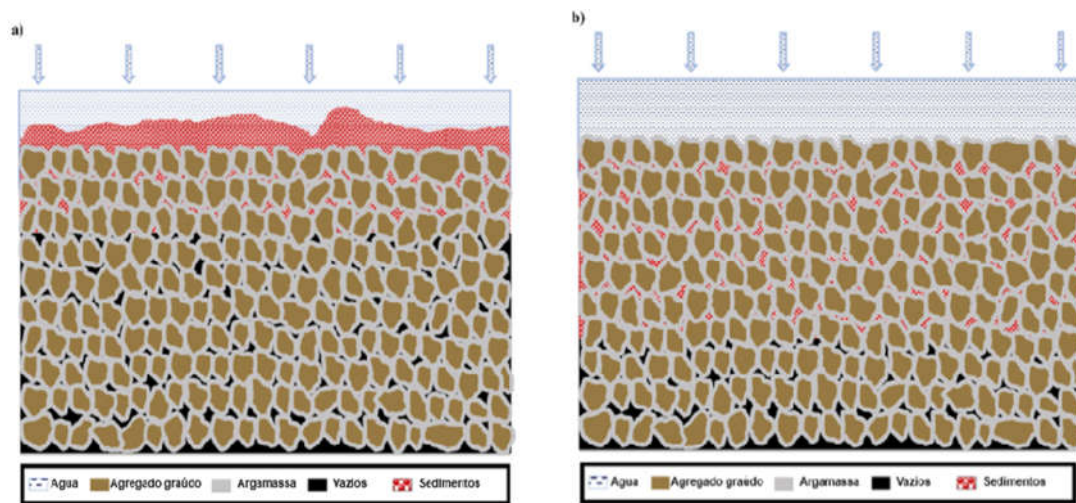
A coleta de dados de infiltração no concreto poroso é necessária para a avaliação da eficácia desse pavimento na mitigação das ilhas de calor urbano. Adicionalmente, é importante destacar que a capacidade de infiltração do concreto

poroso pode ser afetada pela taxa de compactação e pela intensidade do tráfego, como ressaltado por Cipolla *et al.* (2015).

Devido a isso, a porosidade próxima à superfície tende a ser menor do que nas seções mais profundas, indicando uma perda na capacidade de infiltração da superfície. A presença de sedimentos nos espaços vazios pode levar à fragmentação induzida pelo entupimento por partículas soltas (Kia *et al.*, 2017). A permeabilidade do pavimento pode ser comprometida devido à colmatção dos poros, sendo esse o processo que envolve o entupimento gradual desses espaços devido à infiltração de sedimentos e partículas orgânicas, bem como pelo desgaste provocado pela abrasão do pavimento, levando à perda de permeabilidade e à degradação do desempenho do pavimento permeável, ilustrada na

Figura 14 (Yuan *et al.*, 2018). Esse fenômeno, além de afetar a capacidade de drenagem, também influencia as propriedades térmicas do pavimento, comprometendo sua eficácia original (Levinson *et al.*, 2002; Yuan *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2019; Yang *et al.*, 2022).

Figura 14 - Colmatção no Pavimento de Concreto Poroso



Fonte: Adaptada Kia *et al.*, (2017)

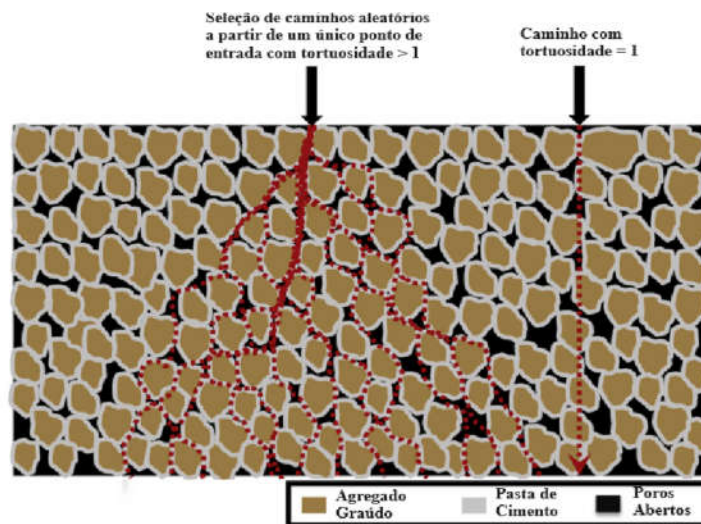
Conforme destacado por Chen *et al.* (2019), a condutividade térmica do concreto poroso tende a diminuir à medida que a porosidade aumenta. Nesse contexto, ao investigar o impacto da colmatção na condutividade térmica dos pavimentos de concreto poroso, será possível compreender como a obstrução dos poros e o preenchimento dos vazios por sedimentos influenciam diretamente na condutividade

térmica desse pavimento.

Diversos estudos destacam que a obstrução em materiais de pavimentos permeáveis pode resultar em uma vida útil, significativamente, reduzida em comparação com as expectativas iniciais, manifestando uma diminuição notável nos coeficientes de permeabilidade após um período de serviço relativamente breve (Henderson e Tighe, 2011; Kia *et al.*, 2017).

A tortuosidade, parâmetro que determina quantitativamente o formato dos poros, dos poros acaba contribuindo para o fenômeno da colmatção. O carregamento, apresentado na Figura 15, de sedimentos dentro do pavimento de concreto poroso com o auxílio da água tende a acumular devido a angulosidade do caminho percorrido. Dessa forma a colmatção acarreta a obstrução do caminho e, conseqüentemente, aumenta a tortuosidade na estrutura interna do pavimento de concreto poroso (Kia *et al.*, 2017; Garcia, 2022).

Figura 15 - Os caminhos oriundos da tortuosidade dentro da estrutura do concreto poroso



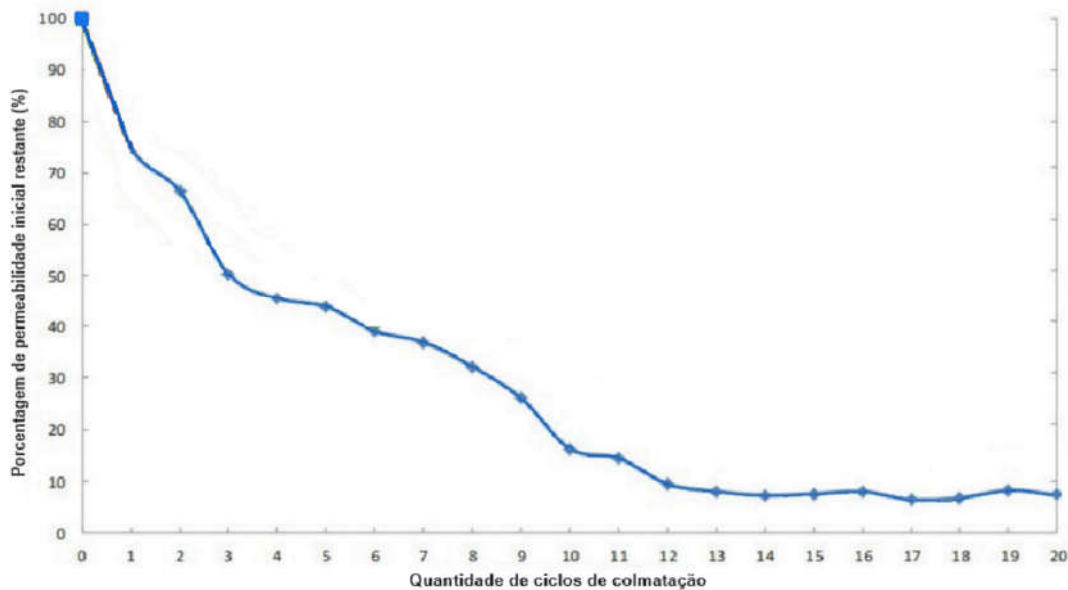
Fonte: Adaptada: Kia *et al.*, (2017)

Outrossim, a tortuosidade dos poros, também apresenta relação inversa com a condutividade térmica, uma vez que quando a razão da tortuosidade aumenta observa-se que a razão da condutividade térmica diminui. Assim, considerando que a colmatção também afeta a tortuosidade dos poros, a explicação para esse

fenômeno reside na redução do caminho resultante dessa obstrução, que cria uma rede com vazios menores dentro do pavimento de concreto poroso (Garcia, 2022).

De acordo com Tong (2011) e Teixeira (2020), em seus estudos para comparação entre materiais colmatantes, a aplicação de areia como agente colmatante resultou em uma redução de 90% na permeabilidade das placas após 20 ciclos de colmatção, conforme mostra a Figura 16, destacando a eficácia desse material para a colmatção

Figura 16 - Relação da perda de permeabilidade do concreto poroso com a areia como material colmatante no decorrer dos ciclos de colmatção



Fonte: Adaptada Tong (2011)

Todavia, ainda há muito a ser abordado sobre os fatores que influenciam a colmatção, uma vez que existem interações complexas entre eles (Yuan *et al.*, 2018). O entendimento desses processos é fundamental para o desenvolvimento de soluções eficazes de drenagem urbana de maneira a garantir o desempenho satisfatório dos pavimentos permeáveis ao longo do tempo.

3.5 A Importância da Coleta de Dados de Temperatura do Pavimento de Concreto Poroso

É importante a obtenção de dados de evaporação no concreto poroso, uma

vez que a evaporação é a energia transmitida da superfície do pavimento pela diferença de temperatura entre o ar e a superfície que faz com que a água alcance a mudança de fase de líquido para gás, reduzindo a temperatura do pavimento (Li *et al.*, 2014). As propriedades físicas dos materiais permeáveis, como as características dos poros, influenciam a absorção de água e, conseqüentemente, o processo de evaporação.

Dessa forma, para maximizar o processo de evaporação e colaborar com o fluxo convectivo de calor na superfície do pavimento, é necessária uma maior absorção d'água. Isso ocorre porque a saturação contribui com a troca de calor quando a temperatura na superfície é maior que a temperatura do ar, conforme discutido por Wang *et al.* (2018).

A temperatura da superfície do pavimento permeável é mais alta do que a do pavimento de pouca permeabilidade na ausência de umidade, segundo Chen *et al.* (2019). Contudo, caso haja água nos poros do pavimento de concreto poroso durante o dia, esse terá uma temperatura da superfície menor devido à troca direta de calor entre este e o ar. Assim, a coleta de dados é necessária para entender os efeitos da evaporação, da infiltração e das temperaturas superficiais do concreto poroso, uma vez que a redução da temperatura superficial dos pavimentos pode contribuir para melhoria das condições térmicas (Santamouris, 2013)

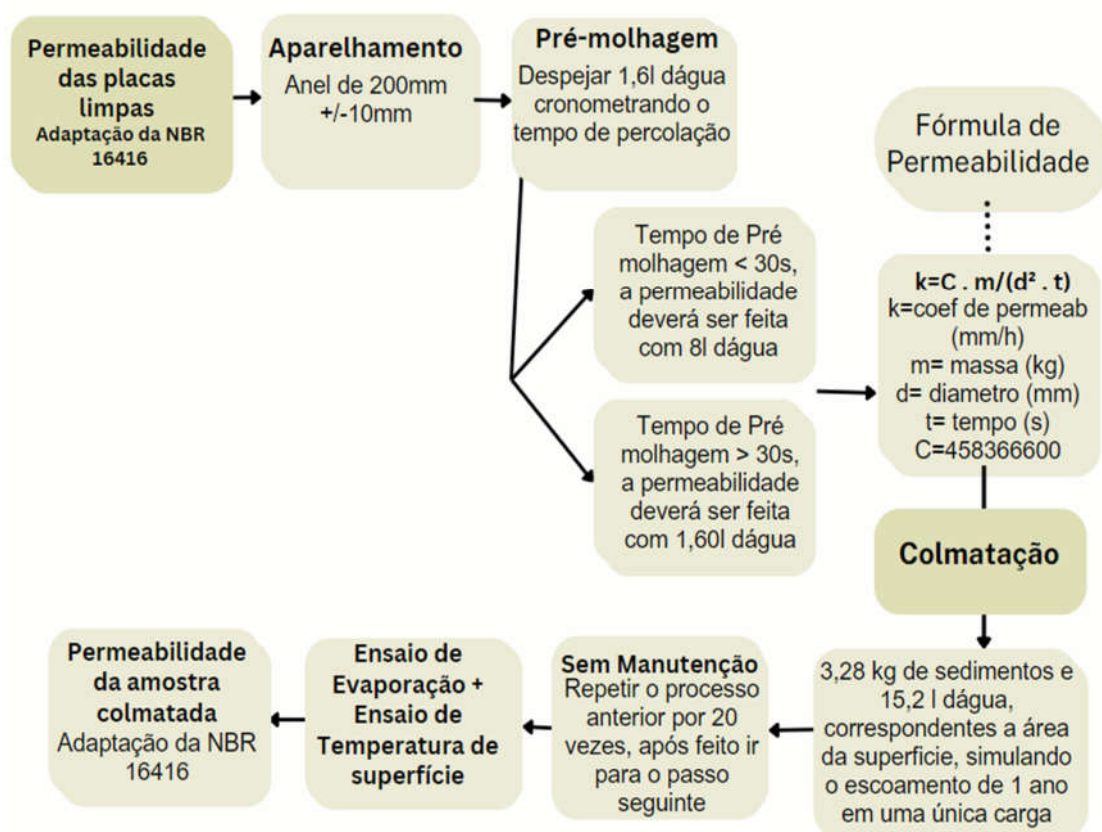
A troca de calor entre a superfície do pavimento e o ar ambiente é um fenômeno que ocorre principalmente por radiação. Quando a temperatura na superfície do pavimento é maior do que a temperatura do ar ocorre a emissão de calor por corrente de convecção (Wang *et al.*, 2018).

É importante a investigação do resfriamento dos pavimentos de concreto poroso por meio do fenômeno da evaporação (Wang *et al.*, 2018). A disponibilidade de água na superfície de pavimentos de concreto permeável desempenha papel significativo nesse fenômeno. Portanto, é necessário aprofundar a compreensão dos fatores que afetam a taxa de absorção de água e a capacidade de retenção para analisar os efeitos de evaporação nos pavimentos de concreto poroso em diferentes níveis de colmatação.

4. MATERIAIS E MÉTODO DE PESQUISA

Foram implementados os seguintes procedimentos para viabilizar a condução dos ensaios, com o objetivo de comparar o comportamento térmico de pavimentos de concreto poroso em diferentes graus de colmatção, empregando um total de seis placas de concreto poroso para as análises. Dessa forma, na Figura 17, é esquematizado de forma concisa o procedimento adotado neste trabalho.

Figura 17 - Fluxograma da Metodologia Utilizada nesse Estudo



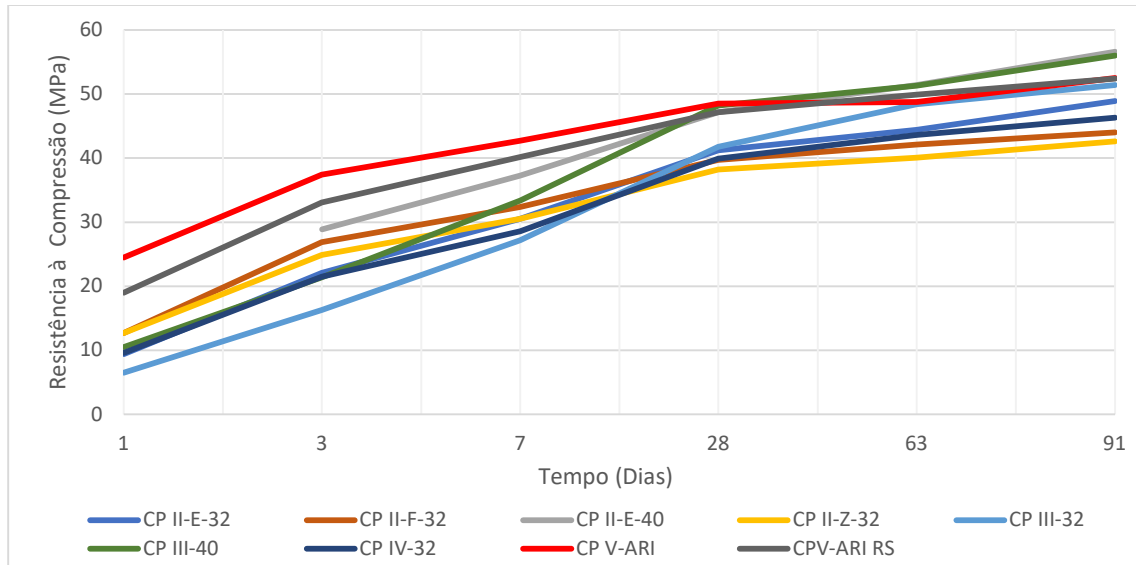
Fonte: Autora (2023)

4.1 Moldagem das Placas de Concreto Poroso

As placas de concreto poroso foram fornecidas para o uso de pavimentação, a empresa fornecedora foi a Stoneplus, localizada no município de Horizonte - CE. O aglomerante utilizado na confecção das placas foi o cimento CP V-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), o qual apresenta alta resistência à

compressão em suas primeiras idades, como é possível verificar na Figura 18.

Figura 18- Resistência à compressão de variadas tipologias de cimento em função do tempo



Fonte: Isaia (2010)

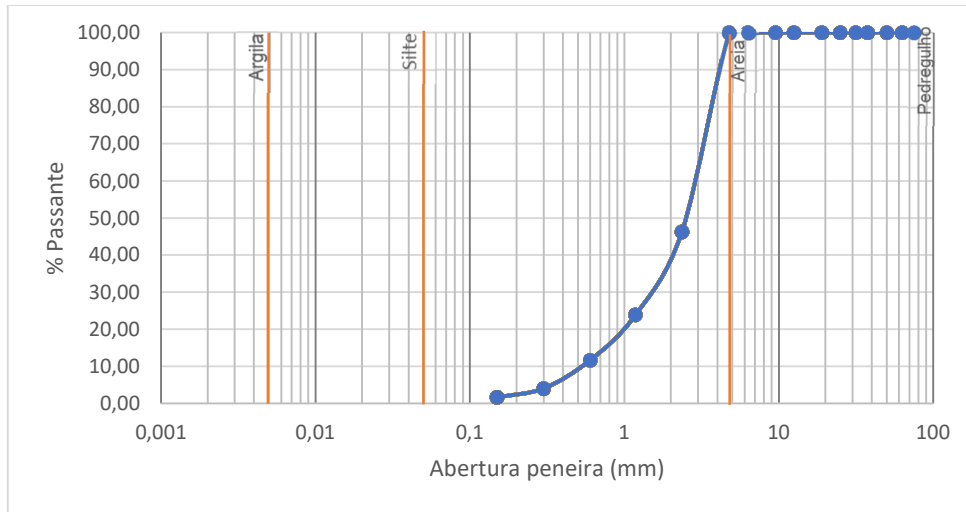
Com o intuito de realizar a caracterização das placas, foram coletadas a granulometria de seus componentes. O agregado miúdo utilizado na moldagem das placas foi areia.

A curva granulométrica da areia apresentada na Figura 19 foi obtida seguindo os procedimentos da ABNT NBR 17054: 2022 - *Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método de Ensaio*. A dimensão máxima característica do material foi de 4,8mm.

O agregado graúdo usado na composição das placas de concreto poroso foi a brita granítica de tamanho 0" (zero), sendo o material foi caracterizado seguindo as recomendações da NBR NM 248: 2001. A dimensão máxima característica foi de 9,5mm. A curva granulométrica está representada na Figura 20.

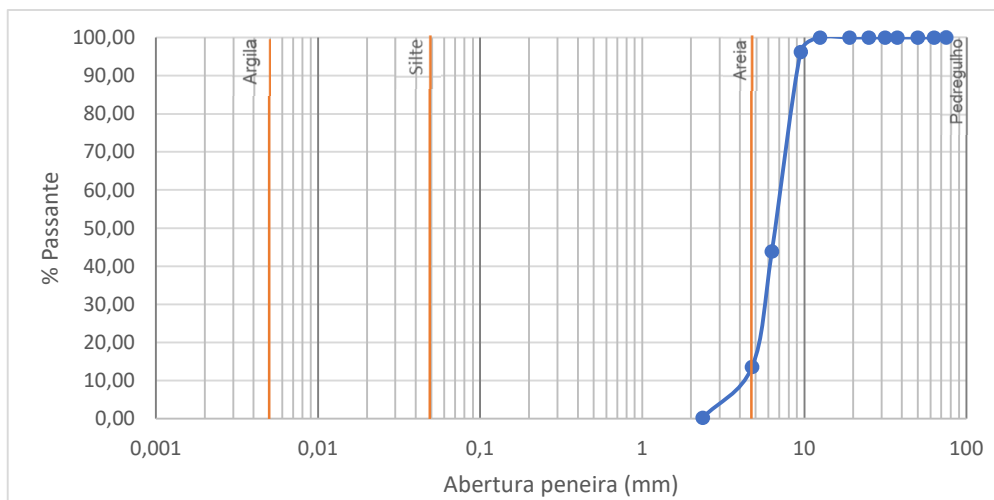
A placa de concreto poroso foi fabricada com a máquina de VibroPrensa TRPREX e tem como traço unitário em massa aquele apresentado na Tabela 5.

Figura 19 - Granulometria do agregado miúdo que compõe as placas de concreto poroso



Fonte: Autora (2023)

Figura 20 Granulometria do agregado graúdo que compõe as placas de concreto poroso.



Fonte: Autora (2023)

Tabela 5-Traço Unitário em Massa

Traço Unitário em Massa			
Cimento - CP V ARI	Areia	Brita	a/c
1,000	0,738	2,484	0,33

Fonte: Autora (2023)

4.2 Caracterização das Placas de Concreto Poroso

As placas de concreto poroso possuem dimensões de 20 × 20 × 8 cm e apresentam características de resistência que atendem aos padrões da ABNT NBR 16416:2015 - *Pavimentos permeáveis de concreto*, bem como às normas relacionadas à resistência à compressão e à flexão. Especificamente, sua resistência à compressão alcançou 28,2 MPa, atendendo às diretrizes da ABNT NBR 9781 :2013 - *Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio* que tem como resistência mínima de 20 MPa. Além disso, para avaliar a resistência à flexão, as placas foram caracterizadas seguindo as recomendações de ensaio da ABNT NBR 15805:2015. Os resultados dos ensaios de flexão confirmaram que as placas de concreto poroso atenderam ao requisito mínimo de 2,0 MPa para tráfego leve, conforme estipulado pela ABNT NBR 16416:2015. Portanto, com espessura de 80 mm, as placas de concreto poroso são adequadas para uso em pavimentação com áreas com tráfego leve, atendendo as normas vigentes conforme mostra a Tabela 6 .

Tabela 6 - Resistência mecânica das placas de concreto poroso

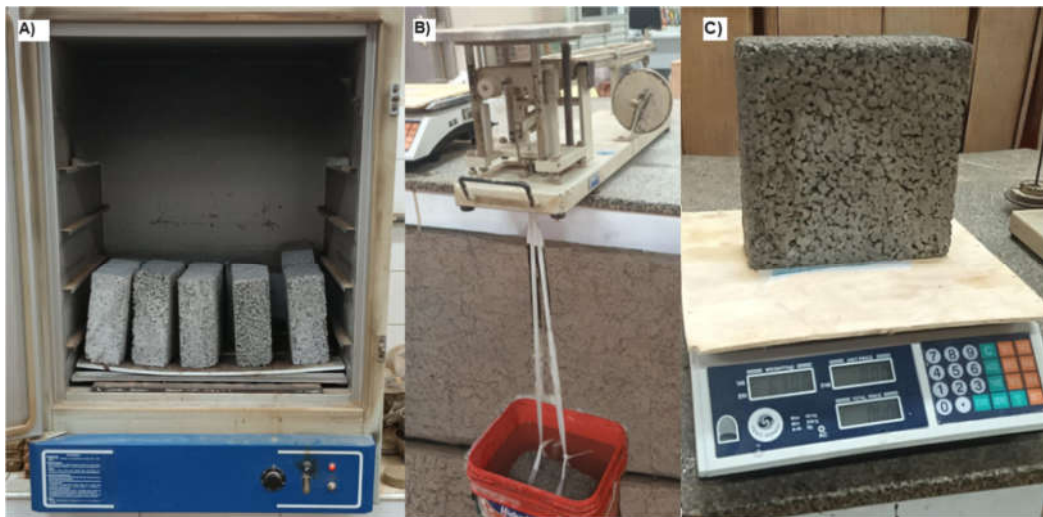
	Resistência NBR 16416:2015 (MPa)	Resistência das Placas em Estudo (MPa)
Resistencia à Compressão	≥ 20,0	28,2
Resistencia à Flexão	≥ 2,0	4,1

Fonte: Autora (2023)

Realizou-se a identificação das placas numerando-as em uma das suas laterais e em seguida foi feito o ensaio de caracterização *das placas, seguindo o procedimento estabelecido pela ABNT NBR 9778:2005 - Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa*

específica. O ensaio seguiu o processo de secagem da amostra e determinação de sua massa na condição seca (Figura 21-a), com a amostra sendo mantida em estufa a uma temperatura de $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas. Além disso, a determinação da massa das placas de concreto poroso na condição saturada e imersa em água foi realizada, incluindo a imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas. Para a aferição das massas, utilizou-se balança hidrostática (Figura 21-b) e convencional (Figura 21-c).

Figura 21-Procedimento para a caracterização segundo NBR 9778: (a) Placas em estufa; (b) Aferição do peso da placa imersa em água pela balança hidrostática; (c) Aferição do peso da placa.



Fonte: Autora (2023)

Pela ABNT NBR 9778:2005, foi possível encontrar a absorção de água, o índice de vazios e a massa específica do concreto poroso, respectivamente com as equações Eq. 1, Eq. 2 e Eq. 3 a seguir:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

A : Absorção de água (%); I_v : Índice de vazios (%); ρ_r : Massa específica (kg/m^3);

m_{sat} : Massa Saturada (kg) m_s : Massa Seca (kg) m_i : Massa imersa (kg)

O ensaio para determinação da permeabilidade das placas de concreto poroso em seu estado inicial, antes da colmatação, seguiu o método adaptado do Anexo A da ABNT NBR 16416:2015. Devido ao tamanho da estufa e a ocupação desta, as placas tiveram que ser reduzidas para as dimensões de 0,20 × 0,20, sendo conservada a sua espessura de 0,08 m. Com isso devido às dimensões das placas de concreto poroso, que possuem um tamanho de 0,20 × 0,20 m, foi necessário ajustar o tamanho do anel e a quantidade de água no ensaio, considerando a redução da superfície de contato. Para tal, estabeleceu-se uma proporção apropriada da área de contato de infiltração para este ensaio adaptado da norma, empregando um anel de 200 mm de diâmetro e ajustando o volume de água a ser percolado. Nessa adaptação da NBR 16416, foram adotados os parâmetros mencionados na Tabela 7. Devido à rápida percolação da água durante a pré-molhagem de todas as placas ensaiadas no estado limpo, com tempos de infiltração inferiores a 30 segundos, foi necessário empregar uma quantidade total de 8 kg de água.

Tabela 7 – Dados do ensaio de permeabilidade adaptado da NBR 16416

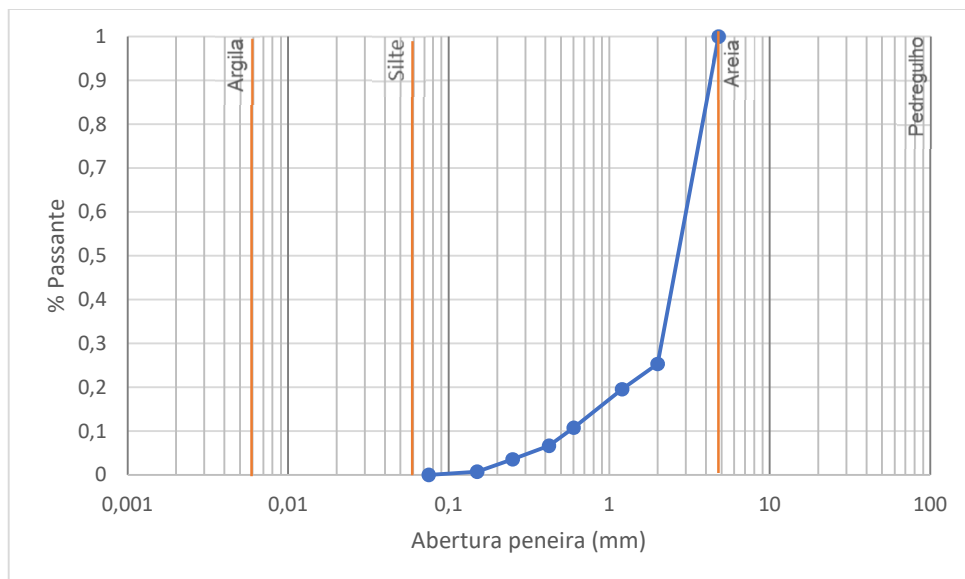
Tempo de Pré-molhagem – NBR 16416 (s)	Massa de água NBR 16416 (kg)	Tempo de Pré-molhagem – NBR 16416	Tempo de Pré-molhagem – Adaptado	Massa de água para o ensaio – Adaptado (kg)
≤30	18,00 ± 0,05	≤30	≤30	8,0
>30	3,60 ± 0,05	>30	>30	1,6

Fonte Adaptado: NBR 16416

4.3 Colmatação das Placas de Concreto Poroso

A colmatação das placas de concreto poroso foi realizada utilizando areia como material de preenchimento. A areia utilizada nesse estudo para a realização do processo de colmatação é oriunda de leito de rio. Sua curva granulométrica está apresentada na Figura 22.

Figura 22- Granulometria da areia utilizada como material colmatante



Fonte: Autora (2023)

A quantidade de material colmatante utilizado para este ensaio, considerou a deposição de sedimentos, nomeado como o método de baixo fluxo de água e alta carga por Mata (2008) e Tong (2011). Este método compreende a aplicação de água e material colmatante nas placas de concreto poroso, para isso faz-se necessária a fixação do tubo à face superior da placa de concreto poroso, como exemplificado na Figura 23. O experimento foi conduzido em 20 ciclos de colmatção, onde em cada ciclo foi empregado 3,28 kg de areia e 15,20l d'água, foram feitos 2 ciclos por dia, com o intervalo de 10h de um ciclo para o seguinte. Dessa forma, vale a pena ressaltar que cada ciclo equivale ao período de um ano de uso do pavimento de concreto poroso.

No ensaio realizado por Mata (2008) foi utilizado um tubo de 100 mm. No presente estudo foi empregado um tubo de 200 mm, resultando em uma adaptação do método proposto. Dessa forma, houve adaptação no volume de sedimentos e na quantidade de água utilizada, devido à diferença na superfície de contato do tubo usado no ensaio. Abaixo, segue a Tabela 8 comparativa entre os dados usados no estudo conduzido por Mata (2008) e as proporções empregadas no presente estudo.

Figura 23-Estrutura utilizada para a realização do ensaio de colmatção



Fonte: Autora (2023)

Tabela 8 - Comparativo entre a quantidade de água e areia colmatante no estudo de Mata (2008) e neste estudo

	Mata (2008)	Presente Estudo
Material Colmatante (kg)	0,82	3,28
Água (l)	3,80	15,20

Fonte: Autora (2023)

4.4 Investigação da Variação da Temperatura Superficial para Placas de Concreto Poroso Antes e Após Colmatção

A medição das temperaturas das placas de concreto poroso teve início às 5:30 h da manhã e se estenderam até as 19:00h, abrangendo todo o período de irradiação solar. O ensaio foi dividido em duas etapas distintas: uma com as placas limpas e outra com as placas já colmatadas. Em todas as etapas, foram estritamente seguidos os procedimentos detalhados por Peixoto *et al.* (2023), fazendo uso dos seguintes equipamentos, conforme Figura 24.

Figura 24-Instrumentos de medição para o ensaio de temperatura de superfície: (a)

Termômetro de pistola laser; (b) Câmera termográfica; (c) Termohigrômetro



Fonte: Adaptada Peixoto (2022)

Três termohigrômetros modelo HOBO UX100-011A foram posicionados a uma distância vertical de 2 metros do chão e a uma distância horizontal de aproximadamente 15 metros das placas de concreto poroso ensaiadas. Esses termohigrômetros foram acomodados dentro de um abrigo meteorológico, protegidos da incidência direta de luz do sol e de ventos, com medições registradas a cada 5 minutos. Tal precaução visou evitar a influência direta da radiação solar e garantir a integridade dos dados de temperatura e umidade do ar. Os equipamentos foram adequadamente abrigados, seguindo as recomendações de Peixoto *et al.* (2023).

A câmera térmica modelo FLIR C2 foi empregada para a medição da Temperatura de superfície (T_{sup}). Dessa forma, foi possível ilustrar as variações térmicas das placas de concreto poroso a cada 2 h.

O termômetro a laser, modelo ININPA MT-350^a, foi utilizado para medições pontuais da temperatura de superfície, realizadas a uma distância de 30 cm da superfície das placas. Essas medições foram feitas a cada 15 min. As medições de temperatura foram realizadas no centro de cada placa de concreto poroso, garantindo uma análise precisa da temperatura superficial.

Dessa forma, os procedimentos adotados possibilitaram uma investigação detalhada da variação da temperatura superficial no centro de cada placa de concreto poroso, considerando diferentes níveis de colmatação e exposição ao sol, enquanto o termohigrômetro permanecia em área sombreada. Essa abordagem proporcionou uma compreensão mais profunda do comportamento térmico desses materiais. O processo de medição foi dividido em duas etapas:

Placas Iniciais Sem Colmatação (Etapa 1): Nessa primeira etapa, foram ensaiadas 6 placas de concreto poroso em estado inicial, ou seja, completamente

limpas e sem qualquer forma de colmatção. Essa fase serviu como referência para as medições subsequentes e forneceu dados para comparação entre os resultados. Durante essa etapa, as placas de concreto poroso foram expostas ao sol e isoladas para evitar a troca de calor por condução térmica com a calçada.

Placas Limpas e Colmatadas (Etapa 2): Nesta etapa foram usadas as mesmas placas do ensaio da Etapa 1, mas agora 3 dessas placas estavam colmatadas, vale ressaltar que as placas continham uma identificação em numeral em uma de suas laterais. O ensaio seguiu o mesmo procedimento da Etapa 1, isso permitiu a análise das variações nas temperaturas superficiais. Durante essa etapa, as placas de concreto poroso foram expostas ao sol e isoladas para evitar a troca de calor por condução térmica com a calçada, conforme ilustrado na Figura 25.

Figura 25 - Configuração do ensaio de temperatura de superfície das placas de concreto poroso limpas e colmatadas



Fonte: Autora (2023)

4.5 Análise do Efeito da Colmatção na Condutividade Térmica de Placas de Concreto Poroso

Para a análise da condutividade térmica, aplicou-se o método desenvolvido por Nassiri e Nantasai (2017), o qual propõe uma equação para determinar a condutividade térmica do pavimento de concreto poroso. A equação Eq. 11 considera

o coeficiente de condutividade térmica dos materiais que constituem as placas de concreto poroso e suas proporções na peça, conforme expresso na seguinte fórmula (Zimmerman, 1989):

$$K_{PCP} = \sum_{i=0}^N n_i \times K_i \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

K_{PCP} : Condutividade térmica das placas de concreto poroso ($\text{W.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$); n_i : Proporção do material na composição do concreto poroso; K_i : Condutividade térmica dos materiais que compõem o concreto poroso ($\text{W.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$).

A proporção de cada material que compõe a placa de concreto poroso foi determinada com base na análise do traço do concreto poroso e no índice de vazios, utilizando as equações 5, 6 e 7 propostas por Nassiri e Nantasai (2017). Dessas apenas a equação 6 é uma adaptação da equação 5, uma vez que o concreto poroso dos estudos de Nassiri e Natansai (2017) não continha agregado miúdo em sua composição.

$$n_{agregado} = \frac{M_{agregadoG}}{M} \quad \text{Eq. 5}$$

$$n_{agregado} = \frac{M_{agregadoM}}{M} \quad \text{Eq. 6}$$

$$n_{pasta} = 1 - \varphi_{inicial} - n_{agregado} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

$n_{agregado}$: Proporção de agregado que compõe o concreto poroso;
 $M_{agregadoG}$: Massa do agregado graúdo (brita) que compõe o concreto poroso (kg);
 $M_{agregadoM}$: Massa do agregado miúdo (areia) que compõe o concreto poroso (kg); M : Massa total do traço (kg); n_{pasta} : Proporção de pasta de cimento que compõe o concreto poroso; $\varphi_{inicial}$: Índice de vazios do concreto poroso no estado limpo/inicial.

Esses cálculos permitem a determinação da condutividade térmica da placa de concreto poroso com base em sua composição. A Tabela 9 apresenta as proporções dos materiais utilizados na composição das placas de concreto poroso no

estado limpo.

Tabela 9 - Proporções dos materiais constituintes das seis placas de concreto poroso

$\varphi_{inicial}$	$\eta_{gráudo}$	$\eta_{miúdo}$	η_{pasta}
0,15	0,546	0,162	0,142

Fonte: Autora (2023)

Os coeficientes de condutividade térmica usados foram retirados da literatura e estão dispostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Condutividade térmica dos componentes do concreto poroso

Material	Condutividade Térmica K ($W.m^{-1}.k^{-1}$)	Referência Bibliográfica
Pasta de cimento - CP V ARI	0,98	Nassiri e Nantasai (2017)
Brita granítica	2,16	Hendel <i>et al.</i> (2018)
Ar	0,026	Nassiri e Nantasai (2017)
Areia	0,183	Nassiri e Nantasai (2017)

Fonte: Autora (2023)

Para verificar a condutividade térmica de forma algébrica nas placas colmatadas foi necessário colocá-las em estufa por 72h, de modo que fosse possível obter o seu peso seco após colmatação. Este foi comparado com o peso seco inicial, sem nenhum tipo de colmatação, com o fito de obter o peso do material colmatante na placa de concreto poroso. Os dados estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Massa das placas de concreto poroso após a realização do processo de colmatação

	Massa Inicial kg	Massa das Placas Colmatadas kg	Massa de Sedimentos kg
PLACA 04	5,798	5,930	0,132

	Massa Inicial kg	Massa das Placas Colmatadas kg	Massa de Sedimentos kg
PLACA 05	5,648	5,784	0,136
PLACA 06	5,772	5,964	0,192

Fonte: Autora (2023)

A quantidade média de sedimentos adicionada às placas durante o processo de colmatção foi de 0,153 kg de material colmatante. Para determinar a condutividade térmica do concreto poroso colmatado, foi necessário calcular a massa unitária da areia colmatante, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 16972:2021. A equação 8 para a massa unitária é apresentada a seguir:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

ρ_{ap} : Massa Unitária do material (kg/m³); m_{ar} : Massa do material e do recipiente, juntos (kg); m_r : Massa do recipiente vazio (kg); V : Volume do recipiente (m³).

Por meio da massa unitária, foi viável determinar o volume de areia empregado na colmatção. O colmatante preenche parcialmente os vazios do pavimento poroso, segundo Kia *et al.* (2017). Nesse contexto, a equação 9 a seguir é empregada para determinar o percentual desse material em relação ao volume inicial de vazios do concreto poroso. Essa abordagem visa obter informações sobre a condutividade térmica do pavimento após o processo de colmatção:

$$n_{colmatante} = \frac{V_{colmatante}}{V_v} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

$n_{colmatante}$: Proporção de material colmatante que ocupa os vazios do concreto poroso; $V_{colmatante}$: Volume do material colmatante; V_v : Volume de vazios do concreto poroso no estado inicial;

Após determinar o percentual de material colmatante, realizou-se a diferença entre esse percentual e o índice de vazios na equação 10, uma vez que o material

colmatante passa a ocupar os espaços vazios do concreto poroso, conforme destacado por Kia *et al.* (2017):

$$\varphi_{\text{pós-colmatção}} = \varphi_{\text{inicial}} - n_{\text{colmatante}} \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

$\varphi_{\text{pós-colmatção}}$: Índice de vazios do concreto poroso após a colmatção;
 φ_{inicial} : Índice de vazios do concreto poroso no estado limpo/inicial; $n_{\text{colmatante}}$:
 Proporção de material colmatante que ocupa os vazios do concreto poroso.

Os componentes da placa de concreto poroso permanecem inalterados, pois não são afetados pela colmatção. Na *Tabela 12* estão apresentadas as proporções de material utilizadas nas placas de concreto poroso no estado colmatado.

Tabela 12 – Proporção média de material nas placas de concreto poroso colmatadas

Índice de vazios	$n_{\text{grauído}}$	$n_{\text{miúdo}}$	n_{pasta}	$n_{\text{colmatante}}$
0,1211	0,5457	0,1621	0,1396	0,0315

Fonte: Autora (2023)

4.6 Comparação dos índices de evaporação das placas de concreto poroso antes e após colmatção

Para avaliar os índices de evaporação nas placas de concreto poroso antes e após colmatção, foi empregada a metodologia proposta por Park *et al.* (2021) e Yang *et al.* (2022), que se fundamentam na variação da massa de água evaporada. A princípio, todas as seis placas foram submetidas à 72h de estufa, com o fito de mantê-las sobre a mesma condição de umidade.

Durante o ensaio, uma lâmpada que emite no infravermelho permaneceu ligada por 4 horas. Esse ciclo teve o objetivo de observar a evaporação das placas de concreto poroso, tanto limpas quanto colmatadas, sob a influência da radiação térmica, e de avaliar como o pavimento se comporta termicamente após cessar a irradiação térmica causada pela fonte de calor. Foram conduzidas duas etapas:

Etapa 1 - Placas Iniciais Sem Colmatção: Inicialmente, foram

selecionadas três placas de concreto poroso em seu estado inicial, completamente limpas e sem qualquer forma de colmatção. Essas placas serviram como referência inicial para as medições subsequentes, fornecendo dados base para comparação.

Etapa 2 - Placas Limpas e Colmatadas: Na segunda etapa, adotou-se uma abordagem que envolveu a seleção de três placas que foram colmatadas, replicando as condições da Etapa 1. Essa abordagem possibilitou a análise das variações de massa evaporada em função da colmatção.

As placas de concreto poroso foram testadas separadamente nos experimentos de evaporação. Como o ensaio conta com placas colmatadas com areia, não foi possível deixá-las submersas em água, para não ocorrer o desprendimento do material colmatante. Dessa forma, as placas limpas e colmatadas foram submetidas ao volume de 15,20 l d'água. Para isso, foi colocado um anel de 200mm na face superior das placas de concreto poroso e em seguida foi despejado 15,20 l d'água em cada placa, o procedimento utilizou o mesmo volume de água que foi feita a colmatção das placas.

Para simular a radiação solar, utilizou-se uma lâmpada infravermelha de 100 watts. A lâmpada foi fixada em uma caixa de acrílico, posicionada a 20 cm acima da face superior do pavimento de concreto poroso. O peso das placas foi avaliado durante todo o ensaio com intervalos de 15 minutos. Para verificar a mudança de massa foi adotada a equação 11.

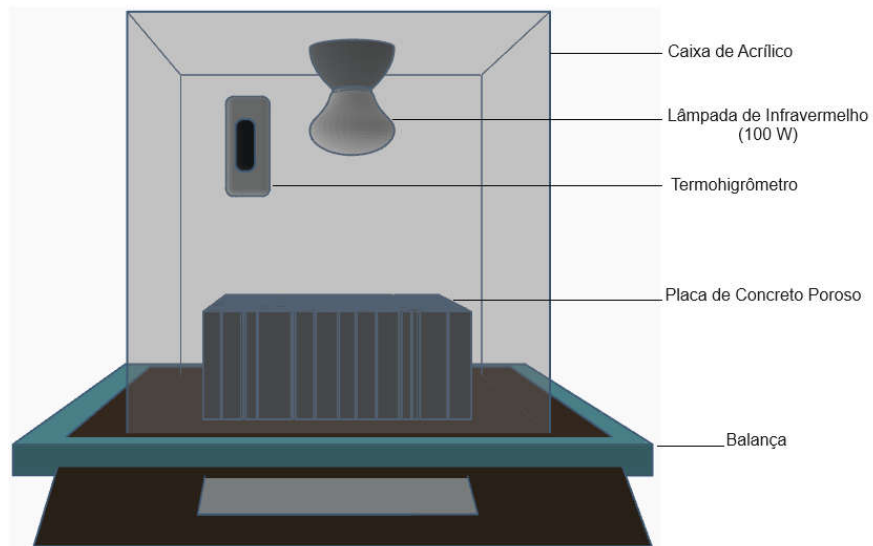
$$Me_n = M_n - M_{n-1} \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

Me_n : Massa evaporada da placa de concreto poroso no intervalo n; M_n : Massa em kg da placa de concreto poroso, última medição aferida; M_{n-1} : Massa em kg da placa de concreto poroso, aferida na medição anterior.

A caixa foi equipada com um termohigrômetro, o que permitiu a medição simultânea da temperatura e da umidade do ar a uma altura de 10 cm acima da superfície da amostra, conforme recomendado por Yang *et al.* (2022) e apresentado na Figura 26.

Figura 26 - Teste de evaporação em placas de concreto poroso



Fonte: Autora (2023)

Para acompanhar o comportamento térmico das placas de concreto poroso, mediu-se a temperatura das superfícies superior e inferior das amostras, utilizando um termômetro a laser infravermelho sem contato e um termopar, seguindo as orientações de Yang *et al.* (2022).

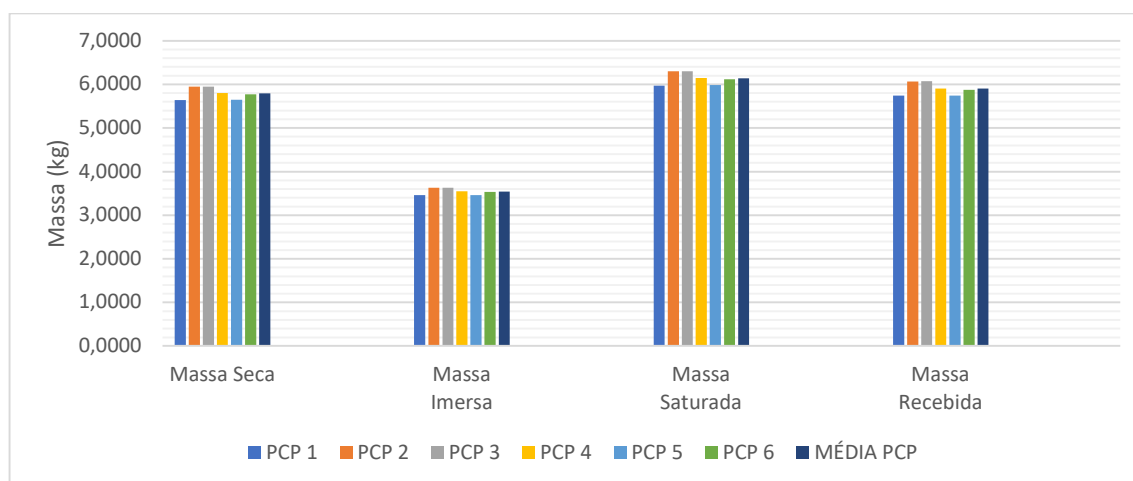
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos ao longo da pesquisa, iniciando pela abordagem dos ensaios de caracterização. A análise detalhada desses resultados forneceu a base para a compreensão das propriedades fundamentais do concreto poroso estudado. Na sequência, adentra-se nos resultados dos ensaios térmicos, explorando o impacto da colmatação no comportamento térmico do pavimento de concreto poroso.

5.1 Resultados dos Ensaios de Caracterização das Placas de Concreto Poroso

Na caracterização das placas, foi empregado o método recomendado pela ABNT NBR 9778:2005. A Figura 27 ilustra os resultados das pesagens, evidenciando valores próximos para as massas aferidas para as seis placas, as massas aferidas apresentam um desvio padrão inferior a 0,1306.

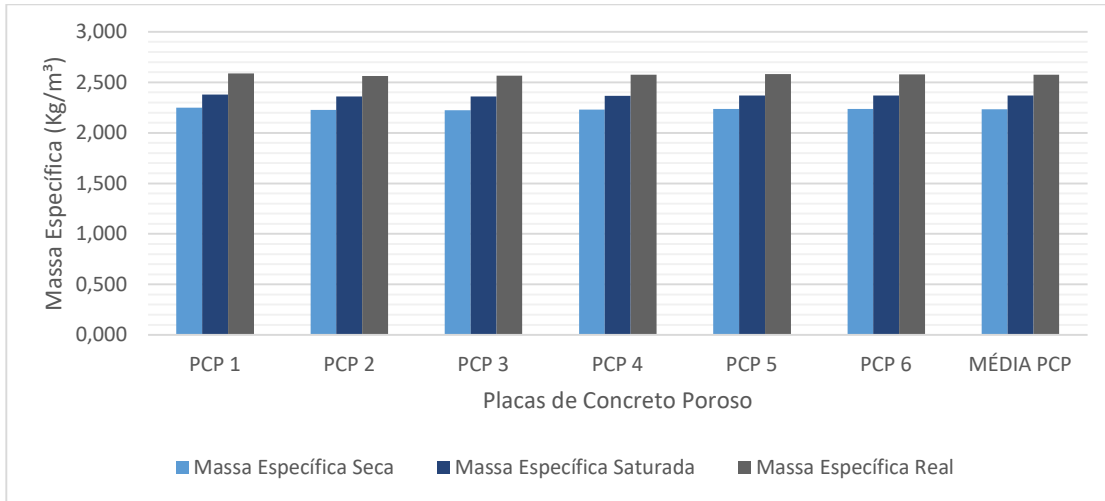
Figura 27 - Pesagem das Placas de Concreto Poroso (PCP) conforme a NBR 9778:2005



Fonte: Autora (2023)

Com base nos dados apresentados na Figura 27, foram determinados os valores da massa específica da placa seca, massa específica da placa saturada e massa específica real. Esses resultados são apresentados na Figura 28, destacando a uniformidade entre as placas, corroborada pelo baixo desvio padrão, que atinge seu maior valor em 0,0095 para a Massa Específica Real.

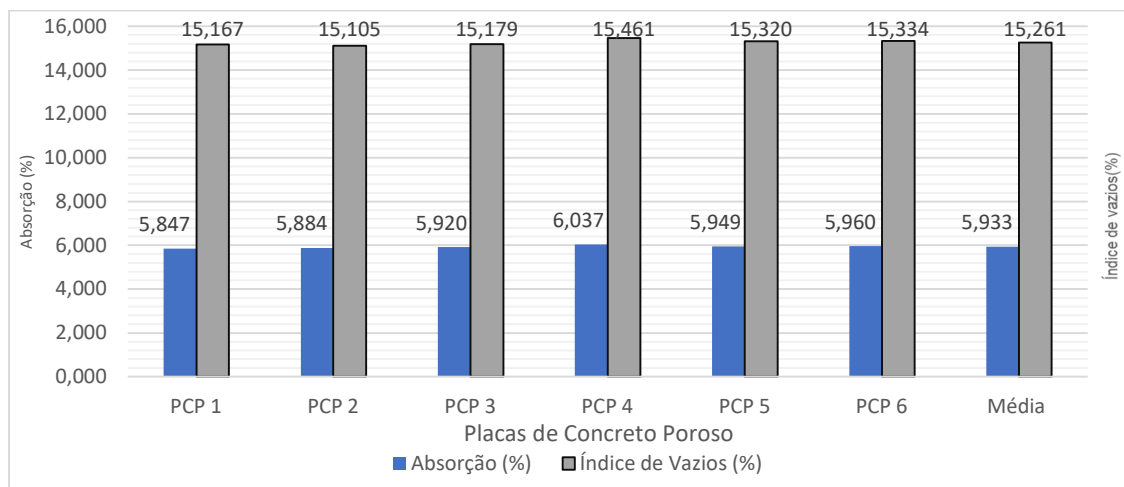
Figura 28 - Resultados de Massa Específica obtidos pela NBR 9778:2005



Fonte: Autora (2023)

O parâmetro mais significativo para condução desta pesquisa é o índice de vazios, que representa a proporção de poros permeáveis em relação ao volume total das placas de concreto poroso. A Figura 29 apresenta o índice de vazios, juntamente com a absorção de água por imersão.

Figura 29 - Índice de vazios e absorção de água por imersão das placas de concreto poroso segundo a NBR 9778:2005



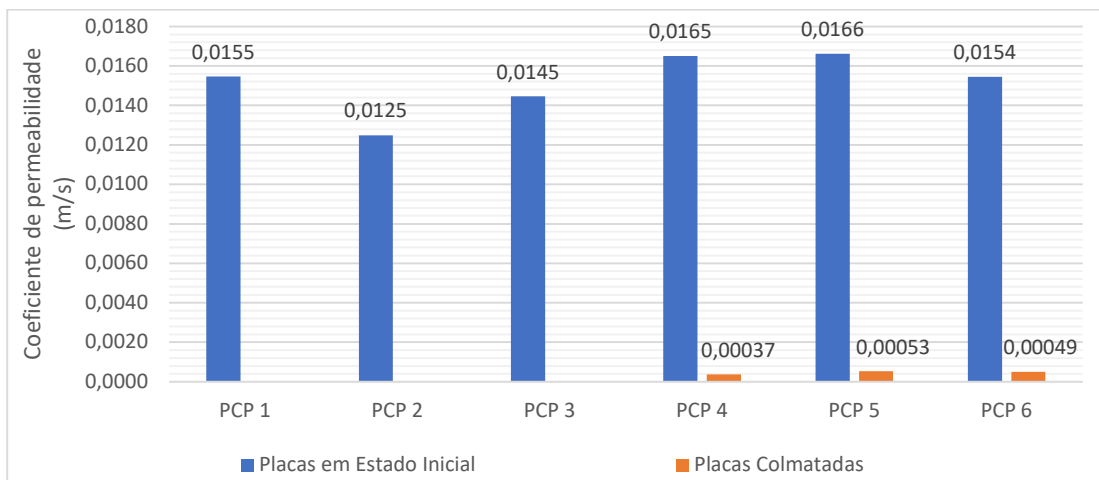
Fonte: Autora (2023)

Após a caracterização das placas de concreto poroso no estado limpo, , foi realizada a avaliação da permeabilidade conforme as diretrizes da NBR 16416:2015. Ao analisar as placas no estado limpo, destaca-se a uniformidade nos coeficientes de

permeabilidade, evidenciada por um desvio padrão de 0,0014. A placa 2 apresenta o menor índice de vazios, ilustrado na Figura 29, a qual também apresenta menor permeabilidade, como mostrado na Figura 30, dentre as amostras no estado limpo. Esse resultado pode ser correlacionado, uma vez que permeabilidade e porosidade têm relação direta, conforme indicado por Schaefer *et al.* (2006).

Ao comparar as placas 4, 5 e 6 em seus estados inicial e colmatado, observa-se, na Figura 30, uma perda de permeabilidade, representando redução de 97,13% após a realização de 20 ciclos de colmatção. Em consonância, no estudo conduzido por Tong (2011), a perda de permeabilidade foi de aproximadamente 92%, utilizando também 20 ciclos e a areia como material colmatante. Dessa forma, vale destacar que as placas no estado limpo, atendem o requisito de permeabilidade mínima de 10^{-3} m/s da ABNT NBR 16416:2015, já as placas colmatadas não atendem ao critério de permeabilidade mínima.

Figura 30- Coeficiente de permeabilidade das placas de concreto poroso limpas e após colmatção



Fonte: Autora (2023)

5.2 Efeito da Irradiação Solar na Temperatura de Superfície de Pavimentos em Concreto Poroso

Os pavimentos de concreto poroso, no estado limpo, foram expostos à irradiação solar em dois dias distintos, 08/10/2023 e 05/11/2023, conforme evidenciado na Figura 31. É relevante destacar que o local de medição permaneceu

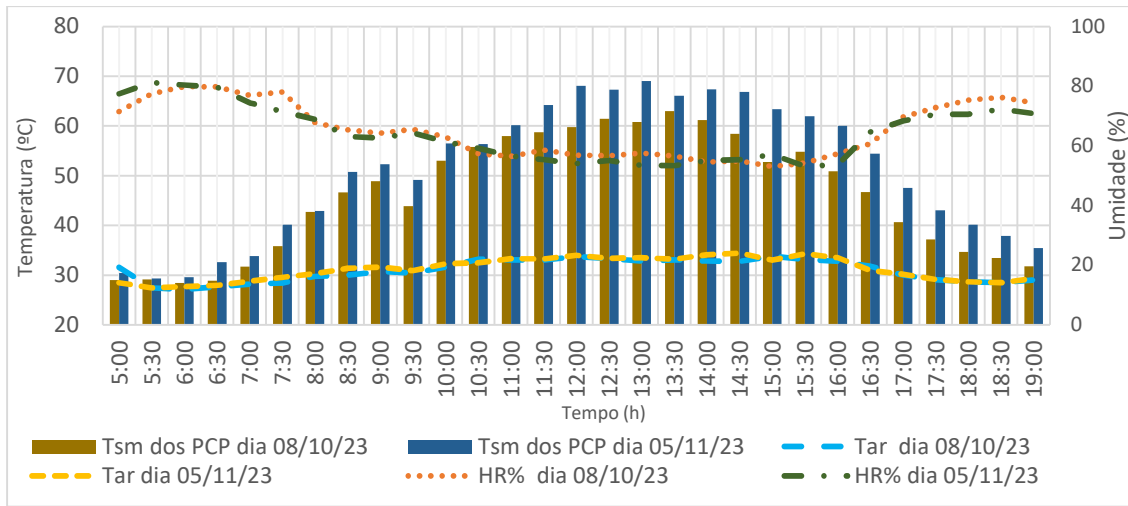
inalterado, assegurando a consistência nos resultados. A análise foi conduzida considerando as mesmas placas, dispostas nos mesmos locais, e utilizando os mesmos equipamentos em ambas as ocasiões.

Ao analisar o gráfico abaixo é possível verificar que as placas apresentam uma maior diferença de temperatura no horário compreendido entre às 11h e às 16h, nesse horário as placas do dia 05/11/2023 apresentam a Temperatura de superfície (Tsup) de 10,46% maior que a Tsup das placas do dia 08/10/2023. Com isso, ao verificar a curva de Temperatura do ar (Tar), nota-se que o dia 05/11/2023 apresenta uma temperatura média, no intervalo das 11:00 às 17:00h, mais elevada de 1,55% quando comparada à temperatura média do dia 08/10/2023 e uma umidade relativa (HR%), no intervalo das 11:00 às 17:00h, menor em 2,43% quando comparada à umidade relativa do dia 08/10/2023.

Como resultado, nesse mesmo dia, as Temperaturas de superfície (Tsup) do concreto poroso são superiores em comparação com as medições realizadas nas mesmas placas em 08/10/2023, caracterizado por uma temperatura do ar mais moderada e uma umidade relativa mais alta. Esses achados destacam a influência tanto da temperatura do ar quanto da umidade na temperatura da superfície das placas de concreto poroso.

É possível observar que uma maior variação na temperatura do ar e a diminuição da umidade está associada a uma temperatura de superfície mais elevada no concreto poroso, pois no horário mais quente e de menor umidade do ar, das 11h às 16h, é possível identificar um aumento médio de 18,66°C na temperatura de superfície do concreto poroso no dia 08/10 e um aumento médio de 22,95°C na temperatura de superfície no pavimento de concreto poroso para o dia 05/11/2023 no intervalo das 11h às 16h. Isso destaca a sensibilidade do concreto poroso às condições atmosféricas, essa sensibilidade em relação à variação da temperatura foi identificada também por Peixoto *et al.*, (2023).

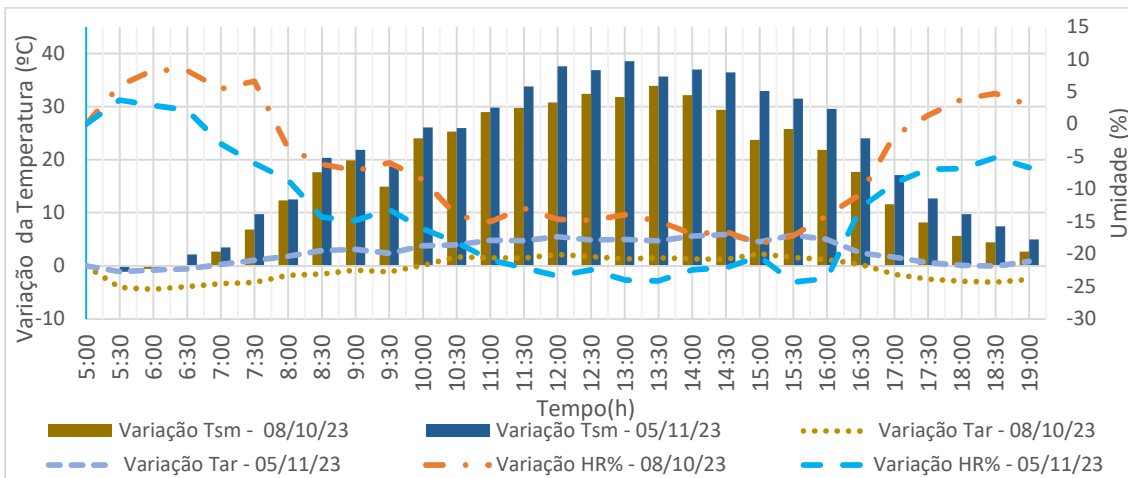
Figura 31 - Comportamento térmico das placas de concreto poroso quando submetidos à radiação solar



Fonte: Autora (2023)

Para facilitar a identificação do impacto da temperatura do ar e da umidade relativa na temperatura de superfície, apresenta-se a Figura 32 que ilustra a variação das temperaturas e da umidade relativa do ar. Para o gráfico a seguir foi tomada como Tsup Inicial, Tar e %HR o valor zero (0), uma vez que busca-se avaliar a variação dessas temperaturas.

Figura 32 – Comparativo da temperatura de superfície das placas de concreto poroso diante a variação da temperatura do ar e da umidade relativa



Fonte: Autora (2023)

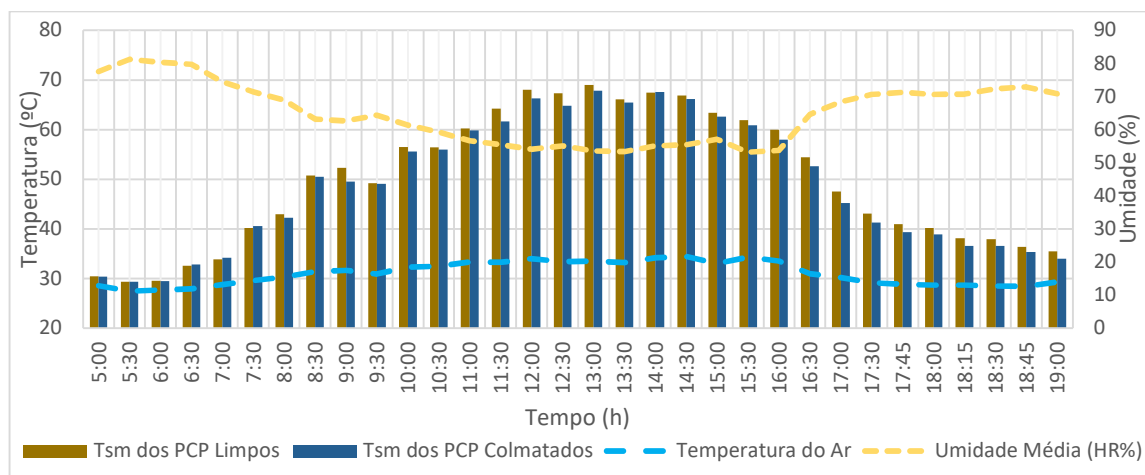
Em ambos os dias é notável a tendência de aumento nas temperaturas de superfície, atingindo picos entre as 11:00H e 16:00h. A variação nas temperaturas reflete a influência direta da temperatura do ar e da umidade relativa, uma vez que as maiores temperaturas de superfície ocorrem durante as horas mais quentes do dia, evidenciando a interconexão entre as variáveis analisadas.

5.3 Variação da Temperatura de Superfície do Pavimento de Concreto Poroso Antes e Após Colmatação Quando Submetido à Irradiação Solar

O ensaio de comparação entre a temperatura de superfície das placas de concreto poroso no estado limpo e no estado colmatado, foi conduzido para ambas as placas nas mesmas condições de exposição total ao sol, das 5:00 da manhã até às 19:00 da noite, registrando diversas variáveis, incluindo a temperatura de superfície (T_{sup}), temperatura do ar média (T_{ar}) e umidade relativa (%HR).

Ao analisar os dados da Figura 33, é possível identificar que as placas limpas apresentaram, em média, temperaturas de superfície ligeiramente superiores, em 1,73%, às placas colmatadas ao longo do período de exposição solar. Isso sugere uma maior capacidade dessas superfícies não obstruídas de absorver calor de forma mais eficiente.

Figura 33 - Temperatura de superficial das placas de concreto poroso no estado limpo e colmatado



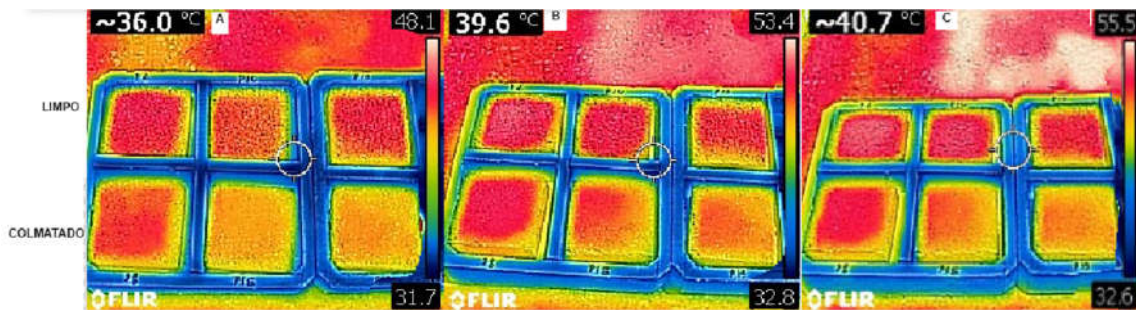
Fonte: Autora (2023)

A explicação para esse padrão de comportamento reside nos vazios da

superfície das placas de concreto poroso no estado limpo. A textura irregular da superfície contribui para uma maior absorção de calor, segundo Senevirathne *et al.*, (2021) e Kevern *et al.*, (2008), esse comportamento é evidenciado na Figura 34 que exibe a imagem capturada pela câmera térmica.

Na Figura 34, as placas com superfície limpa se destacam por cores que indicam temperaturas mais elevadas em comparação às placas colmatadas. Vale ressaltar que o concreto, quando no estado denso, sem os poros, e submetido às mesmas condições de calor do concreto poroso, também tende a apresentar uma T_{sup} com valores inferiores se comparadas aquelas encontradas para o concreto em estado poroso (Kerven *et al.*, 2008; Peixoto *et al.*, 2023).

Figura 34 - Exposição das placas de concreto poroso no estado limpo (placas superiores) e colmatado (placas inferiores) ao sol no decorrer do dia: (a) 9:30h; (b) 10:30h; (c) 11:30h



Fonte: Autora (2023)

Na fase de resfriamento, a eficiência superior de resfriamento do pavimento de concreto poroso no estado colmatado é resultado do fato de que o ar retido nos poros da superfície do concreto poroso no estado limpo age como um isolante térmico (Kerven *et al.*, 2008). Além disso, o maior calor latente associado ao concreto poroso no estado limpo, combinado com a presença de ar em sua superfície porosa, contribui para uma leve retardação do resfriamento da superfície, uma vez que esse atinge temperaturas mais elevadas na fase de aquecimento.

A influência direta da temperatura do ar média e da umidade relativa na variação das temperaturas de superfície das placas ensaiadas, ilustrado na Figura 34, destaca a sensibilidade do concreto poroso às condições ambientais. Essa sensibilidade do comportamento térmico do pavimento de concreto poroso em relação

à temperatura do ar e a umidade está em consonância com os estudos de Yang *et al.* (2020). Dessa forma, a variação temporal nas diferenças de temperatura entre as placas limpas e colmatadas ressalta a necessidade de considerar não apenas as características intrínsecas dos materiais, mas também as condições ambientais do local em que este será implantado ao projetar e avaliar o desempenho de pavimentos permeáveis.

A superfície áspera do pavimento de concreto poroso, quando seco e em estado limpo, resulta em menor refletância, propiciando maior absorção de energia térmica (Senevirathne *et al.*, 2021). Com isso, a colmatção preenche parcialmente os poros, reduzindo a irregularidade da superfície do concreto poroso, fazendo com que o concreto poroso em estado colmatado apresente a temperatura de superfície mais fria do que o concreto poroso em estado limpo. Assim, para que o concreto poroso em estado limpo reduza a temperatura de superfície, é necessário que quando houver água no interior de seus poros, essa seja capaz de resfriar a superfície de concreto poroso por meio do processo de evaporação (Qin, 2015).

5.4 Efeito da Colmatção na Condutividade Térmica de Pavimentos em Concreto Poroso

A determinação da condutividade térmica das placas de concreto poroso foi realizada de maneira teórica, considerando as proporções do traço do concreto poroso no estado limpo e as, respectivas, condutividades térmicas de seus componentes. No caso do estado colmatado, procedeu-se à análise da proporção volumétrica de areia, que ocupava o volume de vazios do concreto poroso. Esse cálculo foi viabilizado por meio do ensaio de massa unitária aparente da areia colmatante, seguindo as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 16972:2021. Os resultados desse ensaio estão detalhadamente apresentados na Tabela 13 .

Tabela 13 - Ensaio de massa específica aparente do material colmatante pela NBR 16972:2021

1ª Medida	1,460	kg
2ª Medida	1,470	kg
3ª Medida	1,457	kg
Volume do Recipiente	997x10 ⁻⁶	m ³

Massa Específica Aparente	1.466,73	kg/m ³
---------------------------	----------	-------------------

Fonte: Autora (2023)

A análise da massa específica da areia possibilitou a identificação do percentual de areia colmatante presente no interior da placa de concreto poroso. Além disso, essa análise permitiu quantificar a redução no índice de vazios, evidenciando o preenchimento dos poros pelo material colmatante, conforme detalhado na Tabela 14.

Tabela 14 - Índice de vazios após a colmatação

Volume de Areia Colmatante	0,105	dm ³
Volume Médio das Placas de Concreto Poroso	3,323	dm ³
Material Colmatante na Placa	3,146	%
Vazios após a Colmatação	12,115	%

Fonte: Autora (2023)

Após a realização do procedimento detalhado por Nassiri e Natansai (2017), foi obtida a condutividade térmica para o concreto poroso no estado limpo e no estado colmatado. Essa análise indicada na Tabela 15 revelou uma diferença de 0,41% entre os referidos coeficientes, destacando a influência da condição de colmatação na capacidade térmica do material. O aumento da condutividade térmica nas placas de concreto poroso colmatado se dá devido à substituição de parte do ar pelo material arenoso, e devido a areia ter um coeficiente de condutividade 85,7% maior que o coeficiente de condutividade térmica do ar, acarreta numa troca de calor mais rápida com o ambiente.

Tabela 15 - Coeficiente de condutividade térmica previsto para o concreto poroso

	Índice de vazios (e)	$n_{\text{gráudo}}$	$n_{\text{miúdo}}$	n_{pasta}	$n_{\text{colmatante}}$	n_{Previsto}
Placas limpas	0,1526	0,5457	0,1621	0,1396	-	0,7795
Placas colmatadas com areia	0,1211	0,5457	0,1621	0,1396	0,0315	0,7824

Fonte: Autora (2023)

Com o fito de verificar a veracidade, as referências bibliográficas da Tabela 16, mostram que o coeficiente de condutividade térmica encontrado para o concreto poroso no estado limpo e no estado colmatado encontram-se dentro do limite

encontrado através de ensaios realizados pela literatura.

Tabela 16 - Coeficientes de condutividade térmica do concreto poroso

	Coeficiente de condutividade térmica W/(mK)	Referência Bibliográfica
Concreto poroso em estado limpo	0,33-0,64	Nassiri e Natansai (2017)
	0,47-0,82	Chen <i>et al.</i> , (2019)
	0,55	Ramos <i>et al.</i> , (2021)
	0,7795	Autora (2023)
Concreto poroso em estado colmatado	0,7824	Autora (2023)

Fonte: Autora (2023)

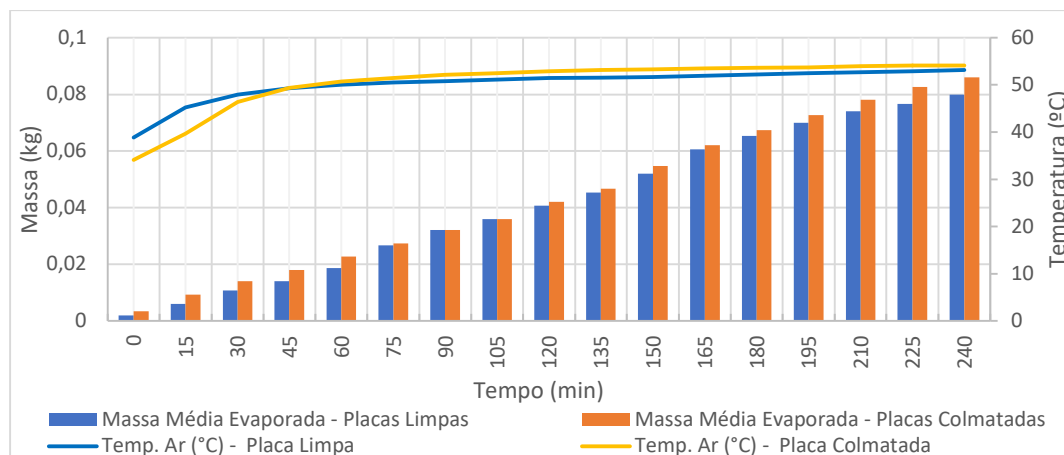
5.5 Impacto da Colmatção no Processo Evaporativo em Pavimentos de Concreto Poroso

Nos ensaios de evaporação realizados para as seis placas, três colmatadas e três limpas, a abordagem individual foi adotada, garantindo condições semelhantes de temperatura conforme indicado pelo termo-higrômetro. A comparação entre as placas limpas e colmatadas ocorreu em pares, demandando dois dias para a realização de todas as medições.

No primeiro dia, as placas colmatadas (placas 1, 2 e 3) foram avaliadas nos horários de 05-09h, 11-15h e 17-21h, respectivamente. No segundo dia, as placas limpas (placas 4, 5 e 6) foram avaliadas nos mesmos horários, para permitir comparações diretas entre placas limpas e colmatadas. As comparações foram estabelecidas entre as seguintes placas: 1 e 4, 2 e 5, 3 e 6.

Os resultados indicaram que as placas colmatadas apresentaram uma massa evaporada ligeiramente superior em 6,97% em relação às placas limpas, conforme a Figura 35 e a Figura 36. A análise da evaporação do concreto poroso, submetido à lâmpada de infravermelho, é apresentada pela massa acumulada de água perdida durante o processo de evaporação.

Figura 35- Massa de evaporação cumulativa das placas no estado limpo e colmatado e a temperatura do ar no interior da caixa

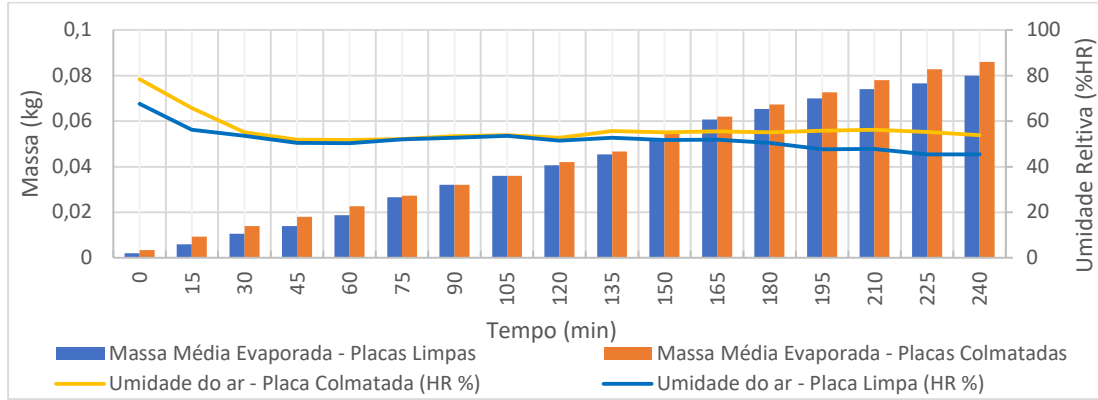


Fonte: Autora (2023)

Verifica-se que as placas colmatadas apresentam, em média, um aumento de 6,9% na massa de água evaporada em comparação com as placas limpas, mesmo estando ambas sujeitas às mesmas condições experimentais. Esse fenômeno é atribuído à presença de areia, uma vez que a água desenvolve coesão aparente ao entrar em contato com os pequenos vazios formados pela areia, sendo esse fenômeno influenciado pela tensão superficial da água nos capilares do solo, resultando na formação de meniscos de água entre os espaços diminutos entre as partículas de areia, conforme destacado por Pinto (2000).

Outrossim, pela análise dos dados da Figura 36, é possível observar o comportamento da umidade relativa do ar, corroborando as descobertas de Yang *et al.*, (2022). Segundo Yang *et al.*, (2022) a umidade relativa mostra-se diretamente proporcional à quantidade de água presente, indicando que ambas são correlatas. À medida que a quantidade de água no concreto poroso diminui, ocorre uma diminuição na quantidade de água evaporada, resultando em uma consequente redução da umidade relativa. No que diz respeito à temperatura do ar, observa-se o fenômeno oposto, visto que, à medida que a massa de água diminui, a temperatura do ar tende a aumentar, conforme mostra a Figura 35. Essas considerações ressaltam a complexidade das interações entre umidade e temperatura durante o processo de evaporação no concreto poroso

Figura 36- Massa de evaporação cumulativa das placas no estado limpo e colmatado e a umidade relativa do ar no interior da caixa



Fonte: Autora (2023)

6. CONCLUSÕES e SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao contrário do que ocorre com a permeabilidade do pavimento de concreto poroso, no estudo de temperatura de superfície a colmatção trouxe menores temperaturas de superfície quando comparado às placas de concreto poroso no estado limpo. A análise dos resultados obtidos em diferentes experimentos proporcionou conhecimento sobre o impacto da colmatção em diversos aspectos do desempenho do pavimento permeável, o que demonstra que o pavimento de concreto poroso pode ser deixado em estado colmatado quando não for estação chuvosa, pois dessa forma apresentará menor temperatura de superfície. Agora, quando iniciar a estação chuvosa, faz-se necessário a manutenção/limpeza do pavimento de concreto poroso para recuperar a sua principal funcionalidade: capacidade drenante. Ao comparar as placas limpas e colmatadas quando submetidas às mesmas condições de radiação solar, notou-se que as placas limpas apresentaram temperaturas de superfície superiores durante a exposição solar.

Na análise do comportamento térmico dos pavimentos de concreto poroso no estado limpo, ficou evidenciada a influência da temperatura do ar e da umidade relativa nas temperaturas de superfície do material. O aumento nas temperaturas durante as horas mais quentes do dia destaca a sensibilidade do concreto poroso às condições ambientais, assim como a redução da umidade relativa no decorrer do dia evidenciou o aumento da temperatura de superfície do pavimento de concreto poroso.

A análise da condutividade térmica revelou uma discrepância entre as placas no estado limpo e colmatado, a presença de areia colmatante resultou em uma diminuição no índice de vazios e no aumento da condutividade térmica. Entretanto, esse aumento foi pequeno o suficiente para não acelerar o aquecimento da placa colmatada em relação à placa no estado limpo. Isso se deve ao preenchimento parcial dos poros da superfície do concreto poroso, reduzindo sua irregularidade e diminuindo a superfície de contato. Além disso, o aumento do volume de materiais, devido à presença de areia colmatante, contribui para um tempo maior de aquecimento do material.

No ensaio de evaporação, as placas colmatadas apresentaram uma massa evaporada superior em comparação com as placas limpas, indicando uma influência positiva da colmatção no processo evaporativo. Esse aumento na massa evaporada

foi atribuído à capacidade da areia colmatante de reter água entre seus vazios.

Portanto, os resultados obtidos sugerem que, embora a colmatação possa impactar negativamente a permeabilidade do pavimento, ela não prejudica o desempenho térmico e evaporativo do concreto poroso. Essas descobertas contribuem para uma compreensão mais abrangente dos efeitos da colmatação e fornecem informações para o desenvolvimento e aprimoramento de pavimentos permeáveis.

À medida que pavimentos de concreto poroso continuam a ganhar destaque como uma solução sustentável e eficaz para drenagem de águas pluviais e gerenciamento de águas superficiais, é fundamental expandir a compreensão sobre o desempenho e manutenção desses pavimentos. Nesse sentido, algumas áreas de pesquisa promissoras para investigar no futuro podem ser citadas:

Variação da Temperatura Superficial e Níveis de Colmatação após Manutenção/Limpeza: Este estudo pode se concentrar em avaliar como a temperatura superficial de pavimentos de concreto poroso varia após a limpeza dos pavimentos de concreto poroso para entender os impactos na temperatura superficial e como isso afeta o conforto térmico e o desempenho em diferentes climas.

Efeito da Colmatação na Inércia Térmica: A inércia térmica de pavimentos de concreto poroso desempenha um importante papel na regulação térmica. Um estudo futuro poderia investigar como a colmatação afeta a capacidade desses pavimentos de armazenar e liberar calor, influenciando seu desempenho térmico e sustentabilidade.

Efeitos da Manutenção/Limpeza na Evaporação: A capacidade de pavimentos de concreto poroso de facilitar a evaporação é vital para o gerenciamento de águas pluviais e o controle de inundações. Uma pesquisa futura poderia analisar como a manutenção e limpeza afetam a capacidade de evaporação desses pavimentos e seu impacto nas condições ambientais locais.

Essas sugestões de trabalhos futuros visam aprofundar a compreensão sobre a dinâmica dos pavimentos de concreto poroso e seu comportamento térmico e hidráulico, bem como identificar estratégias mais eficazes de manutenção. Espera-se que essas pesquisas contribuam para o desenvolvimento sustentável de pavimentos

urbanos e para a promoção de soluções mais eficientes em termos energéticos e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12142**: Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16972**– Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15805**: Pisos elevados de placas de concreto — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

3SET2021 - COLMATAÇÃO E MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS DE CONCRETO - JOSÉ TADEU BALBO - USP. 29 nov. 2021. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=RAq5En0BT_s. Acesso em: 01 nov. 2023.

ACIOLI, L. A. Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte. 2005. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5843>. Acesso em: 18 mar. 2023.

AKBARI, H.; MATTHEWS, H. D. Global cooling updates: Reflective roofs and pavements. **Energy and buildings**, v. 55, p. 2–6, 2012. DOI 10.1016/j.enbuild.2012.02.055. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.055>.

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental / Influence of different surfaces on the temperature and energy flux: an experimental trial. **Revista Ambiência**, v. 8, n. 1, p. 101–111, 2012. DOI 10.5777/ambiencia.2012.01.08. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5777/ambiencia.2012.01.08>.

BEZERRA, Luciano André Cruz. Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). **Universidade Federal do Rio Grande do Norte**, Natal, 2003.

BRASILEIRO, F. M. G.; ZANELLA, M. E. Ocorrência de ilhas de calor no espaço urbano: reflexões no contexto da cidade de Sobral, Ceará. **Geopauta**, v. 5, n. 4, p.

e9499, 2021. DOI 10.22481/rg.v5i4.e2021.e9499. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22481/rg.v5i4.e2021.e9499>.

BONICELLI, A.; PIANETA, L. R. Performance and applications of pervious concrete pavement material as an overlay on existent concrete slabs. **IOP conference series. Materials science and engineering**, v. 471, p. 032061, 2019. DOI 10.1088/1757-899x/471/3/032061.

CHEN, Jiaqi; CHU, R.; WANG, H.; ZHANG, L.; CHEN, X.; DU, Y. Alleviating urban heat island effect using high-conductivity permeable concrete pavement. **Journal of cleaner production**, v. 237, n. 117722, p. 117722, 2019. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.117722. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117722>.

CHEN, Jiaqi; WANG, H.; XIE, P.; NAJM, H. Analysis of thermal conductivity of porous concrete using laboratory measurements and microstructure models. **Construction and building materials**, v. 218, p. 90–98, 2019. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.120. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.120>.

CHEN, Jingqiu; THELLER, L.; GITAU, M. W.; ENGEL, B. A.; HARBOR, J. M. Urbanization impacts on surface runoff of the contiguous United States. **Journal of environmental management**, v. 187, p. 470–481, 2017. DOI 10.1016/j.jenvman.2016.11.017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.017>.

CIPOLLA, S. S.; MAGLIONICO, M.; STOJKOV, I. Experimental infiltration tests on existing permeable pavement surfaces: Water. **Clean: soil, air, water**, v. 44, n. 1, p. 89–95, 2016. DOI 10.1002/clen.201400550. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/clen.201400550>.

EPA - U, S. **Environmental Protection Agency Storm water technology fact sheet. Porous pavement: Compendium of Strategies-Cool Pavements**. Washington: Environmental Protection Agency, 1999.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements**. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2005.

GARCIA, E. S. H. Avaliação da progressão da colmatação de peças pré-moldadas de concreto permeável por meio de tomografia computadorizada. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/247372>. Acesso em: 08 jun. 2023.

GIOIA, A. P. Pesquisa mostra que crescente aumento na temperatura de determinadas áreas de Manaus pode causar diversos problemas de saúde em sua população. [s. d.]. **Fiocruz.br**. Disponível em: https://agencia.fiocruz.br/sites/agencia.fiocruz.br/files/revistaManguinhosMateriaPdf/RM24pag12e13IlhasdeCalor_0.pdf. Acesso em: 30 out. 2023.

GUAN, X.; WANG, J.; XIAO, F. Sponge city strategy and application of pavement materials in sponge city. **Journal of cleaner production**, v. 303, n. 127022, p.

127022, 2021. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.127022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127022>.

GUTIERREZ, A. I. R.; RAMOS, I. C. Drenagem urbana sustentável para a concretização de metas de ODS/ONU. 4 jul. 2019. **ArchDaily Brasil**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/920314/drenagem-urbana-sustentavel-para-a-concretizacao>. Acesso em: 18 nov. 2023.

HENDEL, M.; PARISON, S.; GRADOS, A.; ROYON, L. Which pavement structures are best suited to limiting the UHI effect? A laboratory-scale study of Parisian pavement structures. **Building and environment**, v. 144, p. 216–229, 2018. DOI 10.1016/j.buildenv.2018.08.027. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.027>.

HENDERSON, V.; TIGHE, S. L. Evaluation of pervious concrete pavement permeability renewal maintenance methods at field sites in Canada. **NRC Research Press**, 2011. DOI 10.1139/L11-105. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1139/L11-105>.

HERNANDEZ, L. C.; SZIGETHY, L. Centro de Pesquisa em Ciência, Tecnologia e Sociedade. 12 mar. 2020. **Gov.br**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/231-controle-de-enchentes>.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. 2019. **Gov.br**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/2385-protagonismo-municipal-e-social-melhora-gestao-da-agua>. Acesso em: 18 set. 2023.

ISAIA, G. C. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais - 2ªEd. **Atualizada e Ampliada**, v. 1, n. 2010, p. 785, 2010.

KIA, A.; WONG, H. S.; CHEESEMAN, C. R. Clogging in permeable concrete: A review. **Journal of environmental management**, v. 193, p. 221–233, 2017. DOI 10.1016/j.jenvman.2017.02.018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.018>.

KOVÁČ, M.; SICÁKOVÁ, A. Pervious concrete as a sustainable solution for pavements in urban areas. 2017. **Proceedings of 10th International Conference “Environmental Engineering”** [...]. [S. l.]: VGTU Technika, 2017.

KOWALSKI, L. F. Influência do albedo de pavimentos no campo térmico de cânions urbanos: estudo de modelo em escala reduzida. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12196>. Acesso em: 18 nov. 2023.

LEVINSON, R.; AKBARI, H. Effects of composition and exposure on the solar reflectance of portland cement concrete. **Cement and concrete research**, v. 32, n. 11, p. 1679–1698, 2002. DOI 10.1016/s0008-8846(02)00835-9. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846\(02\)00835-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0008-8846(02)00835-9).

LI, H.; HARVEY, J.; GE, Z. Experimental investigation on evaporation rate for enhancing evaporative cooling effect of permeable pavement materials. **Construction and building materials**, v. 65, p. 367–375, 2014. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.004>.

LI, X.-J.; DENG, J.-X.; XIE, W.-J.; JIM, C.-Y.; WEI, T.-B.; LAI, J.-Y.; LIU, C.-C. Comprehensive benefit evaluation of pervious pavement based on China's sponge city concept. **Water**, v. 14, n. 9, p. 1500, 2022. DOI 10.3390/w14091500. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w14091500>.

LIU, W.; FENG, Q.; CHEN, W.; DEO, R. C. Stormwater runoff and pollution retention performances of permeable pavements and the effects of structural factors. **Environmental science and pollution research international**, v. 27, n. 24, p. 30831–30843, 2020. DOI 10.1007/s11356-020-09220-2. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-020-09220-2>.

MATA, L. A. **Sedimentation of Pervious Concrete Pavement Systems**. 2008. Faculty of North Carolina State University, <https://www.lib.ncsu.edu/>, 2008. Disponível em: <http://www.lib.ncsu.edu/resolver/1840.16/5749>. Acesso em: 28 ago. 2023.

MENDES, A. T.; SANTOS, G. R. Drenagem e manejo sustentável drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que de águas pluviais urbanas: o que falta para o brasil adotar? 2022. **Gov.br**. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11420/1/TD_2791.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.

MERTEN, F. R. M.; DUTRA, V. F. P.; STRIEDER, H. L.; GRAEFF, Â. G. Clogging and maintenance evaluation of pervious concrete pavements with recycled concrete aggregate. **Construction and building materials**, v. 342, n. 127939, p. 127939, 2022. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2022.127939. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127939>.

MORETTI, L.; DI MASCIO, P.; FUSCO, C. Porous concrete for pedestrian pavements. **Water**, v. 11, n. 10, p. 2105, 2019. DOI 10.3390/w11102105. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w11102105>.

NASSIRI, S.; NANTASAI, B. Thermal conductivity of pervious concrete for various porosities. **ACI materials journal**, v. 114, n. 2, 2017. DOI 10.14359/51689492. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14359/51689492>.

PALANISAMY, B.; CHUI, T. F. M. Rehabilitation of concrete canals in urban catchments using low impact development techniques. **Journal of hydrology**, v. 523, p. 309–319, 2015. DOI 10.1016/j.jhydrol.2015.01.034. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.034>.

PARK, J. H.; KIM, Y. U.; JEON, J.; WI, S.; CHANG, S. J.; KIM, S. Effect of eco-friendly pervious concrete with amorphous metallic fiber on evaporative cooling performance. **Journal of environmental management**, v. 297, n. 113269, p. 113269,

2021. DOI 10.1016/j.jenvman.2021.113269. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113269>.

PEIXOTO, N. G. M.; RIBAS, L. V. S.; MONTEIRO, L. M. Avaliação do comportamento térmico de materiais empregados em projeto de requalificação viária na cidade de Fortaleza. In: **XVII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 2023, São Paulo. Anais. São Paulo. Acesso em 20 mar.2023.

PELIANO, A. M.; CHAVES, J. V. © Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada -ipea 2019 Equipe técnica Enid Rocha Andrade da Silva (coordenadora). [s. d.]. **Gov.br**. Disponível em:
https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/191014_cadernos_ODS_objetivo_13.pdf. Acesso em: 18 ago. 2023.

PINTO, C. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

QIAO, X.-J.; LIAO, K.-H.; RANDRUP, T. B. Sustainable stormwater management: A qualitative case study of the Sponge Cities initiative in China. **Sustainable cities and society**, v. 53, n. 101963, p. 101963, 2020. DOI 10.1016/j.scs.2019.101963. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2019.101963>.

QIN, Y.; HILLER, J. E. Water availability near the surface dominates the evaporation of pervious concrete. **Construction and building materials**, v. 111, p. 77–84, 2016. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.063. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.063>.

RAMOS, M. O.; PINHEIRO, I. G.; SOUSA JUNIOR, L. G. de. Influência da porosidade na condutividade térmica, resistência mecânica e coeficiente de permeabilidade do concreto permeável. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 5, p. 515–528, 2021. DOI 10.6008/cbpc2179-6858.2021.005.0041. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.005.0041>.

SANTAMOURIS, M. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 224–240, 2013. DOI 10.1016/j.rser.2013.05.047. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>.

SELBIG, W. R.; BUER, N. Hydraulic, water-quality, and temperature performance of three types of permeable pavement under high sediment loading conditions. **Scientific Investigations Report**, 2018. DOI 10.3133/sir20185037. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.3133/sir20185037>.

SENEVIRATHNE, D. M.; JAYASOORIYA, V. M.; DASSANAYAKE, S. M.; MUTHUKUMARAN, S. Effects of pavement texture and colour on Urban Heat Islands: An experimental study in tropical climate. **Urban climate**, v. 40, n. 101024, p. 101024, 2021. DOI 10.1016/j.uclim.2021.101024. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101024>.

SCHAEFER, V. R.; SULEIMAN, M. T.; WANG, K.; KEVERN, J. T.; WIEGAND, P. **An Overview of Pervious Concrete Applications in Stormwater Management and Pavement Systems**. Ames, IA: Iowa State University, 2006.

TALEGHANI, M. Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies- A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 2011–2018, 2018. DOI 10.1016/j.rser.2017.06.010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.010>.

TEIXEIRA, M. da C. **Estudo da colmatção em concretos permeáveis para tráfego leve e de pedestres**. 2020. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, <https://www.repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/13407>, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/13407>. Acesso em: 08 set. 2023.

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. Pervious Concrete Pavements. EB 302. Skokie: Portland Cement Association; Silver Spring: National Ready Mixed Concrete Association, 2004. 36 p. ISBN 0-89312-242-4.

TONG, B. **Clogging effects of portland cement pervious concrete**. 2011. Iowa State University, <https://dr.lib.iastate.edu/home>, 2011. DOI 10.31274/etd-180810-303. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31274/etd-180810-303>.

TUCCI, C. E.; GENZ, F. **Controle do impacto da urbanização**, 1995.

VIMY TIGHE, S. L. Evaluation of pervious concrete pavement permeability renewal maintenance methods at field sites in Canada. **Canadian Journal of Civil Engineering**, p. 943–951, 2011.

WANG, J.; MENG, Q.; TAN, K.; ZHANG, L.; ZHANG, Y. Experimental investigation on the influence of evaporative cooling of permeable pavements on outdoor thermal environment. **Building and environment**, v. 140, p. 184–193, 2018. DOI 10.1016/j.buildenv.2018.05.033. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.033>.

XIE, J.; ZHOU, Z. Numerical analysis on the optimization of evaporative cooling performance for permeable pavements. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 4915, 2022. DOI 10.3390/su14094915. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su14094915>.

YAHAYA, M. Y. N.; NORDIN, N. The development of thermal conductivity measurement apparatus. **Conference: National Advanced Materials and Manufacturing Engineering Conference (NAMME)**, Batu Pahat, Johor, , p. 25–26, 2010. .

YANG, H.; YANG, K.; MIAO, Y.; WANG, L.; YE, C. Comparison of potential contribution of typical pavement materials to heat island effect. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4752, 2020. DOI 10.3390/su12114752. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su12114752>.

YANG, Q.; DAI, F.; BEECHAM, S. The influence of evaporation from porous concrete on air temperature and humidity. **Journal of environmental management**, v. 306, n. 114472, p. 114472, 2022. DOI 10.1016/j.jenvman.2022.114472. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114472>.

YUAN, J.; CHEN, X.; LIU, S.; LI, S.; SHEN, N. Effect of water head, gradation of clogging agent, and horizontal flow velocity on the clogging characteristics of pervious concrete. **Journal of materials in civil engineering**, v. 30, n. 9, p. 04018215, 2018. DOI 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002410. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0002410](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002410).

ZIMMERMAN, R. W. Thermal conductivity of fluid-saturated rocks. **Journal of petroleum science & engineering**, v. 3, n. 3, p. 219–227, 1989. DOI 10.1016/0920-4105(89)90019-3. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0920-4105\(89\)90019-3](http://dx.doi.org/10.1016/0920-4105(89)90019-3).

APÊNDICE

A 1 - Granulometria do agregado miúdo que compõe as placas de concreto poroso

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Ret. Acum.	% Passante
75	0,00	0,00	0,00	100,00
63	0,00	0,00	0,00	100,00
50	0,00	0,00	0,00	100,00
37,5	0,00	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	0,00	100,00
19	0,00	0,00	0,00	100,00
12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
9,5	0,00	0,00	0,00	100,00
6,3	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
2,36	268,00	53,71	53,71	46,29
1,18	112	22,44	76,15	23,85
0,6	61	12,22	88,38	11,62
0,3	38	7,62	95,99	4,01
0,15	12	2,40	98,40	1,60
Fundo	8,00	1,60	100,00	0,00
Total:	499,00	100,00		

D.M.C.=	4,8 mm
----------------	---------------

A 2 - Granulometria do agregado miúdo que compõe as placas de concreto poroso

BRITA 0 - 9,5 mm				
Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Ret. Acum.	% Passante
75	0,00	0,00	0,00	100,00
63	0,00	0,00	0,00	100,00
50	0,00	0,00	0,00	100,00
37,5	0,00	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	0,00	100,00
19	0,00	0,00	0,00	100,00
12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
9,5	75,94	3,80	3,80	96,20
6,3	1047,02	52,33	56,12	43,88
4,75	605,80	30,28	86,40	13,60
2,36	267,21	13,35	99,75	0,25

BRITA 0 - 9,5 mm				
Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Ret. Acum.	% Passante
Fundo	5,00	0,25	100,00	0,00
Total:	2000,97	100,00		

D.M.C.=	9,5 mm
----------------	---------------

A 3 - Caracterização das Placas de Concreto Poroso (PCP) segundo ABNT 9778

	PESAGEM DAS PLACAS LIMPAS				
	SECO EM ESTUFA Massa Seca	ÚMIDA 72 h Massa Imersa	ÚMIDA 72 h Massa Saturada	VOLUME Vol(m ³)	PESO RECEBIDO Massa Recebida
PCP 1	5,6440	3,4640	5,9740	0,0032	5,7480
PCP 2	5,9480	3,6270	6,2980	0,0033	6,0640
PCP 3	5,9460	3,6270	6,2980	0,0034	6,0760
PCP 4	5,7980	3,5480	6,1480	0,0034	5,9040
PCP 5	5,6480	3,4600	5,9840	0,0033	5,7480
PCP 6	5,7720	3,5350	6,1160	0,0033	5,8800
MÉDIA	5,7927	3,5435	6,1363	0,0033	5,9033
Desvio Padrão	0,1232	0,0675	0,1306	0,0001	0,1319

A 4 - Caracterização das Placas de Concreto Poroso (PCP) segundo ABNT 9778

	RESULTADOS NBR 9778				
	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa Específica Seca kg/m ³	Massa Específica Saturada kg/m ³	Massa Específica Real kg/m ³
PCP 1	5,847	15,167	2,249	2,380	2,589
PCP 2	5,884	15,105	2,227	2,358	2,563
PCP 3	5,920	15,179	2,226	2,358	2,564
PCP 4	6,037	15,461	2,230	2,365	2,577
PCP 5	5,949	15,320	2,238	2,371	2,581
PCP 6	5,960	15,334	2,236	2,370	2,580
Desvio Padrão	0,0601	0,1215	0,0078	0,0078	0,0095

A 5 - Permeabilidade das placas de concreto poroso no estado limpo ABNT NBR 16416

Placa	Pré - umedecimento		Permeabilidade				Infiltração (mm/h)	Infiltração (m/S)	Infiltração (mm/s)
	Vol (l)	t (s)	Vol (l)	t1	t2	t3			
1	1,6	4,08	8	15,7	16,45	17,27	55649,5265	0,0155	15,4582
2	1,6	4,08	8	18,38	21,22	21,53	44989,3604	0,0125	12,4970
3	1,6	5,66	8	16,91	18,2	17,73	52047,6836	0,0145	14,4577
4	1,6	4,92	8	15,3	16,16	14,82	59425,2290	0,0165	16,5070
5	1,6	3,89	8	14,8	14,07	17,1	59825,9648	0,0166	16,6183
6	1,6	5,31	8	15,14	16,75	17,57	55604,5208	0,0154	15,4457

A 6 - Granulometria do agregado miúdo colmatante

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	% Retida	% Ret. Acum.	% Passante
50,0	0,00	0,00	0,00	100,00
38,0	0,00	0,00	0,00	100,00
25,0	0,00	0,00	0,00	100,00
19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
4,80	0,00	0,00	0,00	100,00
2,00	286,86	73,15	73,15	26,85
1,20	22,33	5,69	78,85	21,15
0,60	33,64	8,58	87,43	12,57
0,42	15,88	4,05	91,48	8,52
0,25	11,86	3,02	94,50	5,50
0,15	10,88	2,77	97,28	2,72
0,08	2,68	0,68	97,96	2,04
Fundo	8,00	2,04	100,00	0,00
Total:	392,13	100,00		

D.M.C.=	2 mm
----------------	-------------

A 7 - Permeabilidade das placas de concreto poroso no estado colmatado ABNT NBR 16416

Placa	Pré - umedecimento		Permeabilidade				Infiltração (mm/h)	Infiltração (m/S)	Infiltração (mm/s)
	Vol (l)	t (s)	Vol (l)	t1	t2	t3			
4	1,6	98	8	144	123	146	1331,815787	0,000369949	0,36994883
5	1,6	151	8	105	65	117	1916,515401	0,000532365	0,532365389
6	1,6	78	8	104	105	104	1757,316038	0,000488143	0,488143344

A 8 - Temperatura de superfície das placas de concreto poroso, aferidas em 08/10/2023

	Temperatura de superfície das placas de concreto poroso (°C)					
	P1	P2 - COLMATAD A	P3	P4	P5- COLMATAD A	P6- COLMATAD A
5:00	28,7	29,2	29,1	28,3	29,1	28,5
5:15	28,9	29,3	29,3	28,5	29,3	28,7
5:30	28,9	29,3	29,3	28,5	29,3	28,7
5:45	28,9	29,3	29,3	28,5	29,3	28,7
6:00	28,3	28,3	28,7	27,7	28,5	27,7
6:15	28,7	28,5	28,7	28,3	28,5	28,3
6:30	28,7	28,7	29,3	28,7	28,7	28,7
6:45	29,3	29,3	29,5	29,3	29,5	29,3
7:00	31,7	31,7	31,7	31,5	31,5	31,5
7:15	28,7	28,9	29,5	28,7	29,3	28,5
7:30	35,6	35,7	36,3	35	35,8	35
7:45	41	40,1	41,2	39,2	41	39,3
8:00	42,8	42,4	42,8	42,2	42,6	42
8:15	45,6	44	45,4	43,2	43	43,6
8:30	48,1	45,2	46,5	44,1	48,1	45
8:45	46,2	45,3	45,3	45,3	45,5	45,7
9:00	49,1	48,5	49	48,1	48,5	48,1
9:15	47,5	46,1	47	46	46,6	46
9:30	44,3	42,4	45	42,7	43,7	42,9
9:45	49	50	51,7	51,8	48,9	51,5
10:00	52,8	52,7	53,5	53,5	52,5	53,1

Temperatura de superfície das placas de concreto poroso (°C)						
	P1	P2 - COLMATAD A	P3	P4	P5- COLMATAD A	P6- COLMATAD A
10:15	58,9	57,5	58,2	59,2	57	58,7
10:30	55,3	55,5	56,4	56,6	55,1	56,1
10:45	55,2	54,3	55,1	55,5	53,2	54,4
11:00	57,9	58,1	57,8	59,5	56,4	58,1
11:15	60,8	59,5	60,9	60,3	59,1	59,2
11:30	59,7	57,4	59,1	59,4	58,4	56,4
11:45	59,6	57,9	59	58,6	58,4	58,4
12:00	60,7	58,3	60,3	58,8	60,1	58,5
12:15	59	56,6	58,9	57,3	58,1	55,4
12:30	63	58,2	63,1	60	67,3	59
12:45	62,9	60,1	62,2	58,7	62	56,4
13:00	62,2	58	62,1	59	62,5	57
13:15	63,2	61,7	61,2	60	62,5	59,1
13:30	70,1	65,5	68,4	63,3	69,4	62,3
13:45	64,2	62,2	62,4	60,8	62,7	60,6
14:00	62,4	60,7	60,5	59,8	62,3	59,6
14:15	60,5	59,9	59,7	58,9	59,4	59,2
14:30	60,1	56,1	59	54,2	59	55,2
14:45	54,3	50,7	52,2	48,5	53,2	48,1
15:00	53,8	51,4	53	50	54	51,4
15:15	53,8	52,3	53,3	50,6	53,4	49,9
15:30	56	53,2	55,2	51,3	54,9	50,7
15:45	53,8	51,3	52,5	48,9	52,9	49,3
16:00	51,8	49,8	51	48,6	51,3	48,4
16:15	50,5	47,8	49,1	46,1	49,6	45,4
16:30	47,1	45,7	47,3	44,5	46,8	44
16:45	44,1	42,8	43,4	41,8	43,5	41,1
17:00	41,4	39,7	40,8	39,9	41	39,3
17:15	39,4	38,1	38,9	38,10	39,1	37,60
17:30	37,7	36,5	37,3	36,00	37,5	36,20
17:45	35,4	34,9	35,6	34,50	35,8	34,50
18:00	34,4	34,4	35,2	33,50	35	33,70
18:15	33,9	33,3	33,9	33,50	34	32,90
18:30	33,9	32,7	33,7	32,40	33,5	32,60
18:45	33,7	32,2	32,9	31,40	32,6	31,40
19:00	32	31,4	31,8	31,30	32	31,20

A 9 - Temperatura de superfície das placas de concreto poroso, aferidas em 05/11/2023

Temperatura de superfície das placas de concreto poroso (°C)						
	P1	P2 - COLMATADA	P3	P4	P5- COLMATADA	P6- COLMATADA
5:00	30,4	30,4	30,4	30,4	30,6	30
5:15	30,4	30,4	30,4	30,4	30,6	30
5:30	29	29,6	29,4	29,4	29,6	29
5:45	29,5	28,7	28,2	28,9	28,7	28,9
6:00	29,7	29,5	29,5	29,5	29,5	29,3
6:15	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
6:30	32,7	32,4	32,6	32,9	32,9	32,7
6:45	33,4	33,4	33,4	33,6	33,7	33,5
7:00	33,9	34,2	33,4	34,6	33,9	33,9
7:15	41,3	41,3	41,3	40,2	40,7	39,3
7:30	40,3	40,1	40,1	40,6	40,9	40,1
7:45	42	41,6	41,4	40,9	41	40,9
8:00	43	43,1	42,7	42,1	42,5	42
8:15	49	48,9	48,8	47,9	47,9	47,2
8:30	51	50,8	50,4	50,8	50,4	50,1
8:45	46,5	46,5	46,2	44,6	45,5	45,5
9:00	52,2	52,2	52,5	49,5	50	49
9:15	55,4	55,4	52,2	54,7	55	53,9
9:30	49,3	49,1	49,1	49	49,1	49,1
9:45	57,7	57,7	57,5	58,2	58,6	58,6
10:00	56,6	56,3	56,5	55,7	55,5	55,4
10:15	56,5	55,4	55,7	55,4	55,5	55,5
10:30	57	55,9	56,2	55,9	56	56
10:45	55,3	55	55,2	55,8	55,7	55,4
11:00	60,2	59,9	60,5	59,9	59,3	60,4
11:15	64	63	64,5	61,4	62,6	61,6
11:30	64,7	63,6	64,4	60,9	62,6	61,4
11:45	66,3	66,2	66,2	63,9	64,9	63,4
12:00	68,3	67,8	68	65,8	67,4	65,6
12:15	67,1	66,3	68	66,2	67,2	66,7
12:30	67,6	67	67,3	64,5	64,7	65
12:45	68,8	68	68,6	65,2	68,3	66,1
13:00	69,5	68	69,5	67,2	70,4	65,7
13:15	69,5	69,2	69	68,4	71,7	67,6
13:30	67,2	65,8	65,2	64,9	66,8	64,6
13:45	67,4	67,1	67,6	65,4	67,4	66,1

Temperatura de superfície das placas de concreto poroso (°C)						
	P1	P2 - COLMATADA	P3	P4	P5- COLMATADA	P6- COLMATADA
14:00	67,6	67	67,6	66,8	69,6	66,2
14:15	67,7	65,2	66	66,7	68,3	65,7
14:30	67,6	65,3	67,6	65,4	68,7	64,3
14:45	66,2	64,8	65,1	64,3	66,5	63,7
15:00	63,7	63,4	63	61,4	64,5	61,9
15:15	63,2	62,4	63,5	60,9	63,6	60,9
15:30	62,9	61,6	61,2	60,5	61,6	60,5
15:45	61,5	61,2	60,9	58,8	61,2	59,9
16:00	60,1	59,9	59,9	57,1	59,1	57,8
16:15	57,1	57,5	56,7	54,4	56,3	54,8
16:30	54,5	54,7	54	52	53,7	52,1
16:45	50,7	50,7	50,7	49,8	50,4	49,1
17:00	48	47,8	46,7	44,30	46	45,30
17:15	45,8	45,2	45,9	43,00	43,1	43,10
17:30	43,2	43	43	41,10	40,9	41,80
17:45	41,1	40,9	40,9	39,20	39,4	39,40
18:00	40,2	40	40,2	38,50	39,1	39,10
18:15	38,2	38	38	36,50	36,5	36,50
18:30	38	37,7	38	36,50	36,7	36,40
18:45	36,4	36,2	36,4	35,30	35,4	35,30
19:00	35,4	35,4	35,4	34,00	34,3	33,60

A 10 - Massa evaporada no estudo comparativo entre as placas limpas e colmatadas

PLACA 1 -LIMPA						
LEITURA	TEMPERATURA		PESO	TERMOH	EVAPORAÇÃO	EVAPORAÇÃO
H	Tsup (°C)	Tinf(°C)	kg	°C	(KG)	AC
05:00	31,4	30,2	8,856	41,076	0,002	0,002
05:15	37,2	30,6	8,854	44,949	0,004	0,006
05:30	39,2	32,2	8,85	46,622	0,006	0,012
05:45	42,9	34,2	8,844	47,561	0,002	0,014
06:00	44,4	36,2	8,842	48,351	0,004	0,018
06:15	46,4	37,8	8,838	48,851	0,006	0,024
06:30	47,5	39,5	8,832	49,222	0,004	0,028
06:45	48,4	40,8	8,828	49,663	0,006	0,034
07:00	49,1	41,9	8,822	50,108	0,008	0,042
07:15	51,4	42,8	8,814	50,177	0,004	0,046
07:30	52,5	43,6	8,81	50,522	0,006	0,052
07:45	54	44,2	8,804	51,362	0,004	0,056

PLACA 1 -LIMPA						
LEITURA H	TEMPERATURA		PESO kg	TERMOH °C	EVAPORAÇÃO (KG)	EVAPORAÇÃO AC
	Tsup (°C)	Tinf(°C)				
08:00	54	44,9	8,8	51,895	0,004	0,06
08:15	54,9	45,6	8,796	52,254	0,006	0,066
08:30	56,7	46,2	8,79	52,434	0,004	0,07
08:45	57,6	46,8	8,786	52,906	0,002	0,072
09:00	58,5	47,2	8,784	53,829	0,004	0,076

A 11 Massa evaporada no estudo comparativo entre as placas limpas e colmatadas

PLACA 2 -LIMPA						
LEITURA H	TEMPERATURA		PESO kg	TERMOH °C	EVAPORAÇÃO (KG)	EVAPORAÇÃO AC
	Tsup (°C)	Tinf(°C)				
11:00	35,3	30,5	9,156	37,352	0,002	0,002
11:15	38,3	30,4	9,154	45,543	0,004	0,006
11:30	40,5	31,2	9,15	49,323	0,002	0,008
11:45	42,5	33	9,148	51,151	0,004	0,012
12:00	48,4	35,3	9,144	52,218	0,006	0,018
12:15	50	37	9,138	53,089	0,006	0,024
12:30	52,9	38,9	9,132	53,606	0,01	0,034
12:45	53	40,4	9,122	54,128	0,004	0,038
13:00	53,1	42	9,118	54,77	0,004	0,042
13:15	54,2	42,8	9,114	54,732	0,004	0,046
13:30	55,7	43,7	9,11	54,694	0,006	0,052
13:45	56,5	44,4	9,104	54,656	0,006	0,058
14:00	57	45	9,098	54,884	0,006	0,064
14:15	58,8	45,5	9,092	54,77	0,006	0,07
14:30	58,8	45,8	9,086	54,999	0,004	0,074
14:45	59,1	46,2	9,082	55,075	0,002	0,076
15:00	59,3	46,5	9,08	55,075	0,006	0,082

A 12 Massa evaporada no estudo comparativo entre as placas limpas e colmatadas

PLACA 3 -LIMPA						
LEITURA H	TEMPERATURA		PESO kg	TERMOH °C	EVAPORAÇÃO (KG)	EVAPORAÇÃO AC
	Tsup (°C)	Tinf(°C)				
17:00	32,2	32,1	9,19	38,18	0,002	0,002
17:15	36,5	32,3	9,188	45,136	0,004	0,006

PLACA 3 -LIMPA						
LEITURA H	TEMPERATURA		PESO kg	TERMOH °C	EVAPORAÇÃO (KG)	EVAPORAÇÃO AC
	Tsup (°C)	Tinf(°C)				
17:30	42,5	33,4	9,184	47,922	0,006	0,012
17:45	44	36	9,178	49,255	0,004	0,016
18:00	46,6	37,8	9,174	49,459	0,004	0,02
18:15	47,3	39,2	9,17	49,561	0,012	0,032
18:30	47,9	40,1	9,158	49,425	0,002	0,034
18:45	48	40,8	9,156	49,527	0,004	0,038
19:00	49,2	41,5	9,152	49,561	0,006	0,044
19:15	50,1	42	9,146	49,663	0,006	0,05
19:30	51,4	42,3	9,14	49,765	0,01	0,06
19:45	51,8	43	9,13	49,697	0,008	0,068
20:00	53,4	43,2	9,122	49,731	0,004	0,072
20:15	53,4	43,3	9,118	50,488	0,002	0,074
20:30	54,1	43,4	9,116	50,592	0,004	0,078
20:45	54,4	43,7	9,112	50,661	0,004	0,082
21:00	54,4	44,1	9,108	50,661	0	0,082

A 13 Massa evaporada no estudo comparativo entre as placas limpas e colmatadas

PLACA 4 -COLMATADA						
LEITURA °C	TEMPERATURA		PESO kg	TERMOH °C	EVAPORAÇÃO (KG) KG	EVAPORAÇÃO AC KG
	Tsup (°C)	Tinf(°C)				
05:00	32,4	30,6	9,156	35,217	0,002	0,002
05:15	35,5	30,8	9,154	42,935	0,004	0,006
05:30	39	32,9	9,15	46,366	0,004	0,01
05:45	44	33,4	9,146	47,79	0,006	0,016
06:00	44,9	33,8	9,14	48,584	0,004	0,02
06:15	46,2	35,6	9,136	49,255	0,006	0,026
06:30	48,4	36,9	9,13	49,833	0,002	0,028
06:45	49	38,2	9,128	50,315	0,004	0,032
07:00	50,3	39,3	9,124	50,836	0,008	0,04
07:15	51,7	40,2	9,116	51,327	0,002	0,042
07:30	52,2	40,8	9,114	51,61	0,006	0,048
07:45	52,5	41,6	9,108	51,895	0,008	0,056
08:00	53,7	42,2	9,1	52,398	0,002	0,058
08:15	54,3	42,6	9,098	52,615	0,008	0,066
08:30	55	43	9,09	53,31	0,006	0,072
08:45	55,1	43,7	9,084	53,531	0,004	0,076
09:00	55,6	43,9	9,08	53,829	0,008	0,084

A 14 Massa evaporada no estudo comparativo entre as placas limpas e colmatadas

PLACA 5 -COLMATADA						
LEITUR A °C	TEMPERATURA		PES O kg	TERMO H °C	EVAPORAÇÃO (KG) KG	EVAPORAÇÃO O AC KG
	Tsup (°C)	Tinf(°C)				
11:00	33,4	29,2	8,988	32,389	0,004	0,004
11:15	38,2	29,4	8,984	40,039	0,006	0,01
11:30	39,4	30,9	8,978	48,053	0,004	0,014
11:45	46	34,1	8,974	51,681	0,004	0,018
12:00	47,9	36,8	8,97	53,236	0,004	0,022
12:15	48,8	39,3	8,966	54,165	0,004	0,026
12:30	52,4	41,3	8,962	55,037	0,006	0,032
12:45	53,2	43,2	8,956	55,46	0,004	0,036
13:00	53,8	44,8	8,952	55,848	0,006	0,042
13:15	54,7	46,1	8,946	56,122	0,006	0,048
13:30	55,6	47,2	8,94	56,358	0,008	0,056
13:45	56,2	48,2	8,932	56,675	0,006	0,062
14:00	57,4	49,1	8,926	56,715	0,008	0,07
14:15	58	49,7	8,918	56,795	0,004	0,074
14:30	59,3	50,2	8,914	56,755	0,008	0,082
14:45	59,3	50,6	8,906	57,075	0,006	0,088
15:00	59,9	51,1	8,9	57,115	0	0,088

A 15 Massa evaporada no estudo comparativo entre as placas limpas e colmatadas

PLACA 6 -COLMATADA						
LEITURA °C	TEMPERATURA		PESO kg	TERMOH °C	EVAPORAÇÃO (KG) KG	EVAPORAÇÃO AC KG
	Tsup (°C)	Tinf(°C)				
17:00	36,8	32,7	9,218	34,765	0,004	0,004
17:15	37	32,7	9,214	36,048	0,008	0,012
17:30	41,3	34,3	9,206	44,67	0,006	0,018
17:45	42,9	34,3	9,2	48,684	0,002	0,02
18:00	47,7	35,7	9,198	50,28	0,006	0,026
18:15	47,9	37,3	9,192	51,011	0,004	0,03
18:30	48,3	38,7	9,188	51,398	0,006	0,036
18:45	49	40,2	9,182	51,681	0,004	0,04
19:00	52,7	40,9	9,178	51,895	0,004	0,044
19:15	53,4	42	9,174	51,895	0,006	0,05
19:30	54,2	42,6	9,168	51,895	0,01	0,06

PLACA 6 -COLMATADA						
LEITURA °C	TEMPERATURA Tsup (°C) Tinf(°C)		PESO kg	TERMOH °C	EVAPORAÇÃO (KG) KG	EVAPORAÇÃO AC KG
19:45	54,9	43	9,158	51,967	0,008	0,068
20:00	54,9	43,4	9,15	51,86	0,006	0,074
20:15	55	43,7	9,144	51,646	0,004	0,078
20:30	55,4	43,9	9,14	51,824	0,002	0,08
20:45	55,4	44,1	9,138	51,824	0,004	0,084
21:00	56,2	44,2	9,134	51,717	0,002	0,086