

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

ANA JÚLIA PILON CASTELLO

**DESEMPENHO TERMO-ÓPTICO DE REVESTIMENTOS NA MITIGAÇÃO DO
AQUECIMENTO DE FACHADAS URBANAS**

CAMPINAS

2022

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIA**

**DESEMPENHO TERMO-ÓPTICO DE REVESTIMENTOS NA MITIGAÇÃO DO
AQUECIMENTO DE FACHADAS URBANAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Infraestrutura Urbana, do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Cláudia Cotrim Pezzuto

CAMPINAS

2022

Ficha catalográfica elaborada por Adriane Elane Borges de Carvalho CRB 8/9313
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

691.4
C348d

Castello, Ana Júlia Pilon

Desempenho termo-óptico de revestimentos na mitigação do aquecimento de fachadas urbanas / Ana Júlia Pilon Castello. - Campinas: PUC-Campinas, 2022.

76 f.: il.

Orientador: Cláudia Cotrim Pezzuto.

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022.

Inclui bibliografia.

1. Revestimentos cerâmicos. 2. Refletância solar. 3. Aquecimento - Fachadas. I. Pezzuto, Cláudia Cotrim. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. III. Título.

CDD - 22. ed. 691.4

ANA JULIA PILON CASTELLO

**DESEMPENHO TERMO-ÓPTICO DE REVESTIMENTOS
NA MITIGAÇÃO DO AQUECIMENTO DE FACHADAS
URBANAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.

Orientador (a): Prof. (a). Dr. (a). Cláudia Cotrim Pezzuto.

Dissertação defendida e aprovada em 16 de dezembro de 2022 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:




Profa. Dra. Cláudia Cotrim Pezzuto
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Marcio Fabius Henriques de Carvalho
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Documento assinado digitalmente

 ERICO MASIERO
Data: 19/12/2022 14:28:37-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Érico Masiero
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é resultado da minha intensa dedicação aos estudos nos últimos anos, priorizando sempre meu aprendizado e meu desenvolvimento profissional.

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Cláudia Cotrim Pezzuto, minha orientadora e meu exemplo de pesquisadora, por me guiar neste trabalho, acreditando no meu potencial e me ensinando olhar criticamente as informações.

Agradeço também a todos os professores, técnicos, funcionários e colegas de turma do Programa de Pós Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC-Campinas, pelas trocas, contribuições e momentos de descontração no andamento do curso.

Agradeço os membros da comissão examinadora pelas assessorias, recomendações e avaliações desta pesquisa.

Agradeço muito aos meus pais Cláudia Aparecida Pilon Castello e Pedro José Castello, minha maior fonte de apoio, incentivo e amor. Vocês foram minha base para realização deste sonho.

Agradeço aos meus anciões, Maria Claudete Pozzebon Castello, José Castello, Geni Aparecida Marchezim Pilon e Yolanda Páscoa Pilon, pelas orações e cooperação durante os experimentos que aconteceram neste trabalho.

Agradeço a minha psicóloga Katia Silene Contessotto da Silva, que me ouviu e me fortaleceu durante todo o processo.

Agradeço a todos os meus familiares e amigos, que estiveram presentes e colaboraram de alguma forma.

Gratidão a Deus por esta jornada.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.”

Vintém de cobre: meias confissões de Aninha (1983)

Cora Coralina

RESUMO

O adensamento dos centros urbanos causa modificações ambientais que podem afetar o clima das cidades, contribuindo, por exemplo, com o fenômeno das ilhas de calor. Neste contexto, a temperatura do ar está se elevando cada vez mais. A radiação solar incidente nas superfícies urbanas resultam grande armazenamento de calor nas estruturas das cidades. Sendo assim, as envoltórias das edificações podem ser determinantes no conforto térmico dos habitantes, podendo também influenciar na demanda energética para resfriamento. Diversas pesquisas relatam a contribuição dos materiais reflexivos presentes em pavimentos, coberturas e fachadas na redução dos ganhos de calor das superfícies. Considerando que o desempenho das superfícies pode ser avaliado a partir de parâmetros morfológicos e ópticos dos revestimentos que as constituem, este trabalho tem como objetivo avaliar revestimentos cerâmicos comumente utilizados em fachadas para estabelecer como suas características de refletância solar e cor influenciam no comportamento térmico. Para tanto, foram selecionadas 18 amostras de cerâmica extrudada de diferentes cores e acabamentos, que foram fixadas em painéis verticais posicionados em diferentes orientações (norte, sul, leste e oeste). O experimento foi realizado em dois dias estáveis e sem precipitação, em diferentes estações do ano (verão e inverno). Foram realizadas medições de temperatura superficial dos revestimentos expostos ao sol com câmera de infravermelho e também foram coletadas refletâncias solares em laboratório com um espectrômetro portátil. A amplitude entre temperaturas máximas e temperaturas mínimas de revestimentos cerâmicos pode alcançar até 72,2°C. O revestimento branco, com refletância de 50,5% atingiu a temperatura máxima de 55,5°C, enquanto o revestimento preto, com refletância de 0,3% registrou 76,1°C, demonstrando que cor suave e refletividade mais alta podem potencializar o desempenho térmico. A fachada oeste apresentou maior aquecimento que as demais, podendo ganhar em média até 49,6°C na temperatura superficial durante um dia. Nesta superfície, com temperatura do ar a 33°C, as temperaturas superficiais máximas dos revestimentos estiveram entre 53,6 e 76,1°C. Aumentando o albedo da fachada oeste, a redução da temperatura superficial é significativa. Com o aumento do albedo de 0,31 para 0,45 é possível reduzir a temperatura superficial máxima em 7,6°C e a temperatura máxima do ar em 2,1°C. Esta pesquisa pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias mitigativas de aquecimento urbano a partir do desempenho termo-óptico de revestimentos de fachadas.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Refletância solar. Fachadas urbanas. Aquecimento urbano. Revestimentos cerâmicos.

ABSTRACT

The densification of urban centers causes environmental changes that can affect the climate of cities, contributing, for example, to the phenomenon of heat islands. In this context, the air temperature is rising more and more. Incident solar radiation on urban surfaces result in large heat storage in city structures. Therefore, the envelopes of buildings can be decisive in the thermal comfort of the inhabitants, and can also influence the energy demand for cooling. Several studies report the contribution of reflective materials present in pavements, roofs and facades to reduce surface heat gains. Considering that the performance of the envelopes can be evaluated from morphological and optical parameters of the coverings that constitute them, this work aims to evaluate ceramic claddings commonly used in facades to understand how their characteristics such as solar reflectance and color influence their thermal behavior. For that, 18 samples of extruded ceramics of different colors and finishes were selected. They were fixed on vertical panels positioned in different orientations (north, south, east and west). The experiment was carried out on two sunny days in different seasons, summer and winter. Surface temperature measurements of the claddings exposed under the sun were carried out with an infrared camera and their solar reflectances were also collected in the laboratory with a portable spectrometer. The amplitude between maximum and minimum temperatures of ceramic claddings can reach up to 72.2°C. The white cladding, with a reflectance of 50.5% reached a maximum temperature of 55.5°C, while the black cladding, with a reflectance of 0.3% recorded 76.1°C, demonstrating that light-colored and high reflectivity can rise the thermal performance. The west façade presented greater heat than the others, reaching an average of up to 49.6°C in surface temperature during a day. On this surface, with an air temperature of 33°C, the maximum surface temperatures of the claddings were between 53.6 and 76.1°C. By increasing the albedo of the west façade, the surface temperature reduction is significant. With the increase from 0.31 to 0.45 it is possible to reduce the maximum surface temperature by 7.6°C, and the maximum air temperature by 2.1°C. This research can contribute to the development of mitigating strategies for urban heating based on the thermal-optical performance of envelope facades.

Keywords: *Thermal performance. Solar reflectance. Urban facades. Urban heating. Ceramic claddings.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Projeto do painel do experimento	23
Figura 2. EPS moldado	23
Figura 3. Indicação do local do experimento em escalas diferentes	24
Figura 4. Temperatura do ar de Amparo ao longo do mês de fevereiro de 2022	25
Figura 5. Temperatura do ar de Amparo ao longo do mês de agosto de 2022	25
Figura 6. Carta solar dia 26 de fevereiro de 2022	26
Figura 7. Carta solar dia 12 de agosto de 2022.....	26
Figura 8. Altura solar e azimute solar esquemáticos	27
Figura 9. Metodologia azimute relativo (fachada leste no verão)	28
Figura 10. Foto geral do experimento.....	29
Figura 11. Imagem visível e imagem termográfica das amostras de estudo	29
Figura 12. Caixa preta utilizada no procedimento da medição óptica	30
Figura 13. Temperatura do ar e radiação solar global dos dias 26 e 27/02/2022	33
Figura 14. Temperatura do ar e radiação solar global dos dias 12 e 13/08/2022	33
Figura 15. Temperatura superficial das amostras no verão	35
Figura 16. Temperatura superficial das amostras no inverno.....	36
Figura 17. Boxplot de temperatura superficial das amostras no verão.....	39
Figura 18. Boxplot de temperatura superficial das amostras no inverno	39
Figura 19. Agrupamento das amostras por refletância e temperatura superficial.....	41
Figura 20. Redução na temperatura superficial máxima média e na temperatura do ar máxima conforme aumento do albedo	44
Figura 21. Curvas de refletância espectral dos revestimentos cerâmicos	45
Figura 22. Boxplot de temperatura superficial das fachadas	47
Figura 23. Ganho e perda de calor na temperatura superficial média das fachadas no verão	48
Figura 24. Ganho e perda de calor na temperatura superficial média das fachadas no inverno.....	49
Figura 25. Diferença entre temperatura do ar e superficial máxima e mínima	51
Figura 26. Comparações de <i>Tukey</i> no verão e no inverno.....	53
Figura 27. Comparações de <i>Tukey</i>	54
Figura 28. Diferença de temperatura superficial máxima entre verão e inverno.....	55
Figura 29. Análise de Principais Componentes em cada orientação.....	58
Figura 30. Análise de Principais Componentes	59
Figura 31. Boxplot de temperatura superficial de R45, R31, R21, R11 e R02	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização dos revestimentos selecionados para o experimento	22
Tabela 2. Dados climáticos de Amparo ao longo do ano de 2021	24
Tabela 3. Dados de temperatura do ar nos períodos diurno e noturno.....	34
Tabela 4. Dados climáticos CETESB.....	34
Tabela 5. Temperatura superficial média das amostras em cada orientação	38
Tabela 6. Refletância e temperatura superficial máxima média dos grupos	42
Tabela 7. Redução na temperatura máxima do ar aumentando o albedo urbano	43
Tabela 8. Temperatura superficial das fachadas	46
Tabela 9. Ganho e perda de calor na temperatura superficial das fachadas	50
Tabela 10. Temperatura superficial máxima e mínima das fachadas a cada 2h	52
Tabela 11. Informações de agrupamento do método de <i>Tukey</i> e 95% de confiança, no verão e no inverno.....	53
Tabela 12. Informações de agrupamento do método de <i>Tukey</i> e 95% de confiança	54
Tabela 13. Altura solar e azimute solar dos dias de experimento.....	55
Tabela 14. Resultados dos autovalores e variâncias das variáveis de estudo por Componentes Principais (PC); Fachadas de estudo.....	57
Tabela 15. Escores das variáveis de estudo em relação ao primeiro e segundo Componente Principal; Fachadas de estudo.....	57
Tabela 16. Resultados dos autovalores e variâncias das variáveis de estudo por Componentes Principais (PC); Fachadas de estudo.....	58
Tabela 17. Escores das variáveis de estudo em relação ao primeiro e segundo Componente Principal; Fachadas de estudo.....	58
Tabela 18. Temperatura superficial média e máxima	60
Tabela 19. Aumento de albedo e redução das temperaturas	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Etapas do estudo.....	21
Quadro 2. Descrição dos instrumentos utilizados no monitoramento microclimático.	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Albedo urbano na mitigação do aquecimento	15
3.2 Uso de materiais reflexivos nas envoltórias urbanas	16
3.3 Características e desempenho térmico de fachadas.....	19
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
4.1 Seleção dos revestimentos	22
4.2 Coleta de dados	23
4.3 Análises estatísticas	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1 Análise climática dos períodos	32
5.2 Análise dos revestimentos.....	35
5.3 Agrupamento dos revestimentos	40
5.4 Análise das fachadas	46
5.5 Análise dos grupos nas fachadas.....	59
6. CONCLUSÕES	62
6.1 Considerações para trabalhos futuros.....	64
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	65

1. INTRODUÇÃO

Na medida que as cidades se expandem decorrendo das ações antrópicas, intensifica-se as modificações ambientais que geram consequências locais e globais para o próprio ambiente urbano, tornando-o cada vez mais vulnerável e dependente de mecanismos de mitigações e políticas para solucionar os problemas (BARRY; HOYNE, 2021; KALOUSTIAN; BECHTEL, 2016; SOEIRA, 2018).

O ambiente construído e seus habitantes impactam os processos físicos que promovem, por exemplo, as condições climáticas e a ocorrência de eventos meteorológicos extremos como ondas de calor, tempestades e derretimento de geleiras (BRAINARD, 2021; YANG; WANG; KALOUSH, 2015).

A aglomeração de edifícios e a população crescente estão tornando as cidades cada vez mais impermeáveis e adensadas, elevando a temperatura do ar (STEWART; OKE, 2012), alcançando recordes frequentes em grande parte dos territórios (WMO, 2021) e contribuindo para o efeito ilha de calor que está se tornando cada vez mais intenso (SANTAMOURIS, 2020; SYNNEFA; SANTAMOURIS; LIVADA, 2006). Potencializa-se também, o consumo energético para fins de resfriamento, além de causar desconforto e problemas de saúde (SANTAMOURIS, 2020; SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011). Com cada vez mais interferência humana no sistema climático a magnitude dos impactos na sociedade pode ser tão grande, a ponto de se tornar irreversíveis (IPCC, 2018). Entretanto, o aquecimento das cidades pode ser revertido aumentando o albedo urbano (MUNIZ-GÄAL, 2017; STEWART; OKE, 2012; TAHA, 1997).

A radiação solar incidente e os meios urbanos que produzem calor, resultam grande armazenamento de calor sensível nas estruturas das cidades ao longo do dia. Este calor é liberado na atmosfera urbana durante os períodos noturnos (DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004). As estruturas urbanas são capazes de modificar o fluxo do ar, o transporte de calor atmosférico e o balanço de radiação de ondas curtas e longas (STEWART; OKE, 2012).

No geral, pesquisas desenvolvidas nesse contexto avaliam estratégias de mitigação do calor urbano abrangendo, além do aumento do albedo (ALCHAPAR et al., 2017; ALCHAPAR; CORREA; CANTÓN, 2012; KOWALSKI, 2019; MASIERO; SOUZA, 2018; SYNNEFA; SANTAMOURIS; APOSTOLAKIS, 2007; VIRK et al., 2015), incremento de áreas vegetadas (SHASHUA-BAR; HOFFMAN, 2004;

SKELHORN; LINDLEY; LEVERMORE, 2014), adaptações na ocupação do solo e melhorias morfológicas dos cânions urbanos (MONTEIRO, 2018; MUNIZ-GÄAL, 2017).

Encontra-se na literatura diversos estudos sobre fachadas verdes e fachadas ventiladas. Todavia, um pequeno número de pesquisadores tem avaliado o desempenho de revestimentos de fachadas frente ao aquecimento urbano (ALCHAPAR; CORREA, 2020; ALCHAPAR; CORREA; CANTÓN, 2012; PISELLO et al., 2015), tão pouco têm considerado o impacto das orientações solares.

O desempenho de superfícies urbanas está associado às suas características térmicas e ópticas pois afetam os processos dinâmicos e termodinâmicos da camada limite da superfície (ALCHAPAR; CORREA, 2020). Ou seja, mudanças de cor, composição, acabamento, textura, forma e refletância de materiais que compõe fachadas podem afetar a temperatura superficial e conseqüentemente a temperatura do ar. Dentre eles, a refletância solar é um dos fatores que interferem o desempenho térmico das superfícies urbanas (CASTELLO; CARVALHO; PEZZUTO, 2022; DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004; SYNNEFA; SANTAMOURIS; LIVADA, 2006). Com o uso de tecnologias reflexivas em fachadas pode-se reduzir as temperaturas superficiais na ordem de até 39°C. No entanto, sua eficiência é afetada pelo envelhecimento da superfície, que após 3 anos pode elevar até 30°C (ALCHAPAR; CORREA, 2020).

Este estudo visa verificar a relação das características dos revestimentos urbanos verticais com a temperatura superficial, observando a influência das diferentes orientações solares, uma vez que trabalhos consultados na literatura estudaram, majoritariamente, pavimentos e coberturas. Sendo assim, o foco deste trabalho são os efeitos térmicos causados nas superfícies externas. Desta forma, contribuirá para a fundamentação científica com ênfase em técnicas construtivas que respeitem o clima.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar como revestimentos cerâmicos com diferentes refletâncias solares interferem no desempenho térmico de fachadas urbanas.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos têm-se:

- Investigar a diferença no desempenho termo-óptico dos revestimentos cerâmicos entre as orientações solares (norte, sul, leste, oeste);
- Investigar o desempenho termo-óptico dos revestimentos em diferentes estações do ano (verão e inverno) em condições brasileiras;
- Investigar a influência da trajetória solar das fachadas (norte, sul, leste, oeste), considerando azimute solar e altura solar;
- Investigar nos revestimentos a influência da cor na temperatura superficial;
- Evidenciar, baseando-se na literatura, o impacto na temperatura do ar com mudança de albedo urbano.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Albedo urbano na mitigação do aquecimento

A ocorrência de altas temperaturas urbanas é tema de repercussão global pois afeta à sobrevivência da humanidade nas cidades, onde vive a maior parte da população, que responde a 70% das emissões de CO₂ relacionadas à demanda energética (ZHANG et al., 2019). Estudos prevê para 2050 que o consumo de energia para resfriamento dos edifícios alcance 35% do consumo total, devido à combinação do aquecimento global (PAOLINI et al., 2017). Esse consumo pode ser reduzido a partir de melhorias no desempenho térmico das edificações para integrá-los ao microclima gerando mais conforto térmico à população (GARSHASBI et al., 2020; SANTAMOURIS, 2020).

Nos centros urbanos pode ser observado o fenômeno das ilhas de calor. O estudo das ilhas de calor é indispensável no cenário da microclimatologia e do conforto fisiológico da população. Uma de suas causas está relacionada a reflexão ou absorção da radiação solar nas superfícies dos materiais presentes nas cidades. Quanto menor albedo estes materiais possuem mais retém calor, e desta forma transferem mais calor para os ambientes urbanos, permitindo com que algumas regiões se tornem mais quentes que outras, e mais quentes também em relação à zona rural (KINOSHITA; YOSHIDA, 2016; STEWART; OKE, 2012). Arranha-céus podem absorver radiação solar seis vezes mais que uma planície não urbanizada (TERJUNG; ZYXW; LOUIE, 1973).

Absortância solar e refletância solar das envoltórias urbanas são parâmetros que vem sendo amplamente estudado como estratégia para mitigação das temperaturas elevadas para proporcionar maior conforto térmico no ambiente externo e nas edificações. Define-se como absortância o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície, enquanto refletância (às vezes, chamada de albedo) trata-se do quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (ABNT, 2003).

A utilização de materiais com alta refletividade à radiação solar contribuem no aumento do albedo de áreas urbanas reduzindo os ganhos térmicos convectivos e

radiativos nas superfícies (AKBARI; MATTHEWS; SETO, 2012; GARSHASBI et al., 2020; SANTAMOURIS, 2020; STEWART; OKE, 2012).

É possível aumentar a refletividade de pavimentos asfálticos, por exemplo, apenas utilizando uma camada branca de concreto sobre o asfalto (SANTAMOURIS, 2013). E um plano coordenado de manutenção urbana para instalar telhados e pavimentos com alta refletância solar poderia potencializar o albedo urbano por 2 a 3 décadas (AKBARI; MATTHEWS; SETO, 2012). Esses materiais são eficientes durante o dia e também impactam na intensidade das ilhas de calor noturnas (YANG; WANG; KALOUSH, 2015). Logo, evidencia-se que o aumento do albedo urbano pode reduzir a temperatura do ar das cidades, compensando parte do aumento da temperatura causado pelo aquecimento urbano.

Análises de cenários de mitigação de calor com a aplicação de materiais frios têm apresentado melhorias ao clima urbano. Grande parte destes estudos realizam simulações no *software ENVI-Met* (SANTAMOURIS et al., 2017). Em Campinas – Brasil, com o aumento do albedo de 0,1 para 0,2 tem-se a redução de 1,3°C na temperatura máxima do ar, enquanto o mesmo aumento em Mendoza – Argentina, pode gerar a redução de 0,7°C (ALCHAPAR et al., 2019), em Nova York – EUA 0,62°C (SAVIO, 2006) e em Huston – EUA 3,5°C (TAHA 2008a). O aumento do albedo de 0,05 para 0,15 reduz 0,3°C na temperatura máxima do ar em Grenoble – França (PISELLO et al., 2016a) e 1,4°C em Florina – Grécia (ZORAS et al., 2014).

3.2 Uso de materiais reflexivos nas envoltórias urbanas

Diversas pesquisas têm abordado o benefício dos materiais frios ou reflexivos (GEORGAKIS; ZORAS; SANTAMOURIS, 2014; PAOLINI et al., 2017; PISELLO et al., 2015; SANTAMOURIS; YUN, 2020; SYNNEFA et al., 2008). São considerados materiais frios (*cold / cool materials*) quando apresentam alta refletividade à radiação solar e alta emissividade espectral, facilitando o resfriamento da temperatura do ar por acumular menos energia solar na sua superfície (DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004; SYNNEFA; SANTAMOURIS; APOSTOLAKIS, 2007).

A primeira geração dos materiais frios abrange materiais naturais de cores suaves e superfícies lisas, como mármore, mosaicos e pedras (BRETZ; AKBARI, 1997; DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004; REAGAN; ACKLAM, 1979). A segunda geração é caracterizada por revestimentos artificiais de alta refletância na

região não visível do espectro solar, tais como tintas com pigmentos inorgânicos, como dióxido de zinco ou dióxido de titânio, apresentando refletância solar entre 0,70 e 0,85 (PISELLO, 2017; SYNNEFA; SANTAMOURIS; APOSTOLAKIS, 2007; SYNNEFA; SANTAMOURIS; LIVADA, 2006).

Entre os materiais frios as tintas se destacam pelo excelente desempenho térmico que apresentam. Em condições quentes de verão, uma placa de concreto revestida com tinta fria pode obter 4°C reduzidos na sua temperatura superficial (SYNNEFA; SANTAMOURIS; LIVADA, 2006). Tintas frias geraram diferenças na temperatura superficial de até 10,2°C em relação às tintas convencionais (SYNNEFA; SANTAMOURIS; APOSTOLAKIS, 2007). De fato, tintas frias podem ser eficazes.

No geral, o uso de revestimentos mais reflexivos pode reduzir até 39°C na temperatura superficial das fachadas (ALCHAPAR; CORREA, 2020), 41°C em telhados (ALCHAPAR et al., 2020; MUNIZ-GÄAL et al., 2018) e 32°C em pavimentos (ALCHAPAR; CORREA; CANTÓN, 2014), comparando situações extremas de ganho de calor das superfícies.

Em contrapartida, determinados estudos que têm avaliado a eficiência das estratégias mitigativas de calor urbano, constataram que alta reflexão pode aumentar as cargas radioativas, podendo trazer reflexos negativos para a saúde humana (ALCHAPAR et al., 2017; AMBROSINI et al., 2014; ERELL et al., 2014; YAGHOUBIAN NEDA; KLEISSL JAN, 2012) e comprometer o ambiente externo (LOBACCARO; FRONTINI, 2014; ZHU JIAJIE; JAHN WOLFRAM; REIN GUILLERMO, 2019).

A fachada sul, envidraçada, espelhada e de formato côncavo, do edifício *Walkie-Talkie*, de 37 andares, na cidade de Londres, localizado na *Fenchurch Street*, causou o derretimento de peças plásticas de um carro estacionado na rua em 29 de agosto de 2013. As propriedades do material da fachada potencializaram a reflexão da radiação solar direta de 10 a 15 vezes ao longo de uma hora, ultrapassando o fluxo de calor que pessoas poderiam tolerar por tempo prolongado (ZHU JIAJIE; JAHN WOLFRAM; REIN GUILLERMO, 2019).

Grande parte dos edifícios em centros urbanos possuem envelopes envidraçados. Estes são capazes de maximizar a transmissão da luz visível e a refletância dos comprimentos de ondas do infravermelho, podendo contribuir para redução da entrada do calor internamente, no entanto, este mecanismo pode gerar problemas externamente, tanto de aquecimento quanto ofuscamento (LECHNER NORBERT, 2015; ZHU JIAJIE; JAHN WOLFRAM; REIN GUILLERMO, 2019).

Com avanço tecnológico, outros recursos são considerados para reduzir as temperaturas urbanas, como a utilização de revestimentos dinâmicos, entre eles, materiais termocrômicos (FABIANI et al., 2019; PANÁK; DRŽKOVÁ; KAPLANOVÁ, 2015), materiais com mudança de fase (PISELLO et al., 2016b) e materiais fotocatalíticos (KYRIAKODIS; SANTAMOURIS, 2018).

O ângulo dos raios solares também apresenta grande importância na refletância solar das superfícies de cânions urbanos e no resultado da temperatura do ar. Por isso, materiais retrorrefletivos, que possuem capacidade de refletir grande parte da luz solar incidente para o domo do céu, estão sendo recentemente investigados e introduzidos como um subconjunto de revestimentos altamente reflexivos na mitigação do superaquecimento urbano (MANNI et al., 2020).

Estudos de envoltórias urbanas também observam a degradação natural dos revestimentos que ocorre ao longo do tempo. Além da radiação ultravioleta, as superfícies estão sujeitas às intempéries como poluição e agentes biológicos. O acúmulo de poeira e outras sujidades podem contribuir na redução ou na elevação da refletividade do material. Desta forma podem gerar ganhos de calor no edifício e no ambiente urbano (DORNELLES, 2008a).

Estudos relatam que sob influência de intempéries, o Índice de Refletância Solar (SRI) dos materiais pode diminuir expressivamente no início da vida-útil, sobretudo ao longo dos primeiros seis meses (ALCHAPAR; CORREA, 2016; DORNELLES; CARAM; SICHIERI, 2015). Os estudos constatam a diminuição na refletância de pavimentos cinzas, por conta do acúmulo de sujeira que gerou coloração mais escura ao longo do tempo. Por outro lado, pavimentos grafites e vermelhos, perdem pigmentação nos primeiros anos de uso, causando elevação na sua refletância comparada a inicial (KOWALSKI; MASIERO, 2021). Revestimentos brancos apresentem refletividade alta em torno de 90%, e por isso possuem bom desempenho térmico (SANTAMOURIS, 2013; SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011; SYNNEFA; SANTAMOURIS; APOSTOLAKIS, 2007), entretanto mostram-se frágeis quando expostos ao intemperismo, necessitando manutenções periódicas como lavagens para recuperar parte das suas propriedades ópticas (SANTAMOURIS, 2020).

Outros estudos se concentram na quantificação da economia de energia. A demanda de resfriamento depende principalmente das características do edifício e das características climáticas locais (SAVIO, 2017). É alcançável em média 20% de

economia energética utilizando materiais frios em telhados (AKBARI; KONOPACKI, 2005). O fluxo de calor interno de uma edificação modelo com cobertura e paredes frias obteve redução de 28% (REVEL et al., 2014). E com economia de 31% no custo energético de HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), a utilização de parede fria em casa de dois andares gerou resultado positivo (LEVINSON RONNEN, 2019).

Enquanto a utilização de paredes frias é uma medida emergente, a aplicação de materiais frios em pavimentos e telhados é exigida por duas décadas na Europa e na América do Norte (atendendo alguns padrões de eficiência energética). Na América Latina a aplicação de materiais frios em fachadas, pavimentos e telhados ainda é incipiente (ALCHAPAR; CORREA, 2020).

Pelo mencionado nesta seção, as envoltórias das edificações são determinantes no microclima das cidades e os revestimentos frios podem manter os ambientes mais frescos. Neste sentido, há necessidade de caracterizar os materiais de acabamento superficial existentes, principalmente a partir de suas propriedades térmicas e reflexivas, para avançar a gestão energética nas cidades, a certificação energética dos materiais e a promoção da utilização (LEVINSON RONNEN, 2019; PEREZ et al., 2022).

3.3 Características e desempenho térmico de fachadas

A escolha de revestimentos para superfícies externas pode ser realizada a partir de diversas variáveis, tais como: estética, economia, durabilidade, manutenção e eficiência térmica, que dependem das propriedades dos materiais que o vasto mercado apresenta. Atualmente, revestimentos opacos para fachadas incluem pinturas, texturas com pinturas, concretos, tijolos aparentes, madeiras, pedras, entre outros.

O desempenho térmico de fachadas está associado ao comportamento simultâneo da cor, textura, acabamento, composição e refletância dos revestimentos (ALCHAPAR; CORREA; CANTÓN, 2012). Estudos relatam que a cor e a refletância são as variáveis com maior impacto na temperatura superficial, afetando diretamente o desempenho térmico das envoltórias urbanas (ALCHAPAR; CORREA, 2020; DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004; MUNIZ-GÄAL et al., 2018).

Com base em pesquisas sobre a evolução da policromia urbana brasileira, observou-se a tendência arquitetônica ibérica no período colonial, onde as edificações, no geral, eram recobertas por cal tornando-as brancas e as esquadrias apresentavam colorações marcantes, produzidas a partir de pigmentação natural como anil, urucum, açafião, braúna e ipê (REIS FILHO, 2004). As fachadas ecléticas, após o período colonial, apresentavam cores de claridade média e média saturada, como amarelo, ocre, salmão, rosa, verde-água e azul, com detalhes em branco, bege e marrom claro, mas a partir do período pré-modernista limitam-se a uma gama de cores neutras, aproximando às tonalidades dos materiais aparentes como o concreto, incluindo basicamente cinza e bege, com jogo de texturas finas (NAOUMOVA, N., LAY, 2007).

A utilização de tintas nas fachadas é considerada uma estratégia de resfriamento urbano mais eficiente que revestimentos texturizados, além de registrarem degradação menos acentuada ao longo do tempo (ALCHAPAR; CORREA, 2020).

No geral, superfícies ásperas e escuras tendem a absorver mais radiação solar que superfícies lisas e claras, desta forma transferem mais calor para o ambiente urbano (ALCHAPAR; CORREA, 2020; DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004).

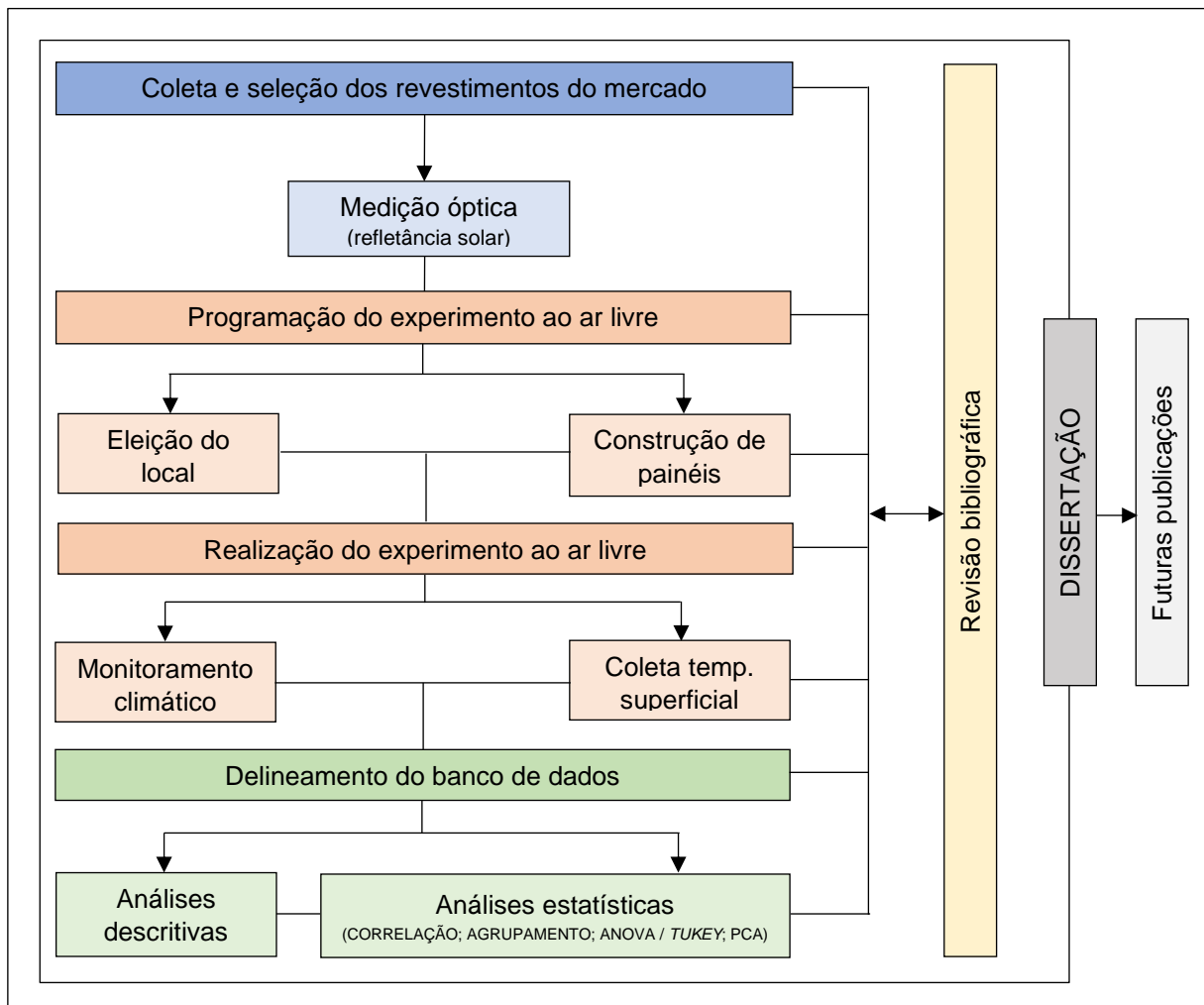
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta é uma pesquisa de campo e exploratória, que requer procedimentos experimentais e etapas de análises estatísticas, visando a caracterização qualitativa e quantitativa de determinados revestimentos cerâmicos comumente utilizados em edificações brasileiras.

A abordagem qualitativa abrange a descrição física das amostras de estudo, incluindo cores e tipos de superfícies. Enquanto a abordagem quantitativa envolve medições de refletância solar (%) e de temperatura superficial (°C), além do monitoramento das condições climáticas.

O **Quadro 1** ilustra as etapas do desenvolvimento deste estudo para alcançar o objetivo do trabalho que compreende a análise do desempenho termo-óptico dos revestimentos e se há influência das suas especificidades.

Quadro 1. Etapas do estudo



4.1 Seleção dos revestimentos

Observando superfícies de centros urbanos adensados e avaliando as possibilidades de coleta de amostras no mercado, foi selecionado uma gama de revestimentos com distintas características entre si, totalizando 18 revestimentos, apresentados **Tabela 1**. Estes são constituídos de cerâmica extrudada e apresentam três tamanhos, 240x54x14mm, 240x116x9mm e 250x80x14mm. Também possuem diferentes tipos de superfícies, variando entre texturizada ou lisa, e os acabamentos, por sua vez, são brilhantes, acetinados ou foscos. São revestimentos para serem aplicados diretamente em paredes, sem apresentar sistemas de ventilação de fachadas.

Tabela 1. Caracterização dos revestimentos selecionados para o experimento

Amostra	Código	Cor	Textura	Acabamento	Tamanho (mm)
	GE_TA	Gelo	Texturizada	Acetinado	240x54x14
	TEE_TA	Terracota escuro	Texturizada	Acetinado	250x80x14
	TEM_TF	Terracota médio	Texturizada	Fosco	250x80x14
	PA_TF	Palha	Texturizada	Fosco	250x80x14
	TE_LA	Terracota escuro	Lisa	Acetinado	240x116x9
	TE_TA	Terracota escuro	Texturizada	Acetinado	240x116x9
	CO_TA	Concreto	Lisa	Acetinado	240x116x9
	CO_TA	Concreto	Texturizada	Acetinado	240x116x9
	BE_LA	Bege	Lisa	Acetinado	240x116x9
	BE_TA	Bege	Texturizada	Acetinado	240x116x9
	PR_LB	Preto	Lisa	Brilhante	240x116x9
	AZE_LB	Azul escuro	Lisa	Brilhante	240x116x9
	VE_LB	Vermelho	Lisa	Brilhante	240x116x9
	AME_LB	Amarelo	Lisa	Brilhante	240x116x9
	BE_LB	Bege	Lisa	Brilhante	240x116x9
	VEC_LB	Verde claro	Lisa	Brilhante	240x116x9
	AZC_LB	Azul claro	Lisa	Brilhante	240x116x9
	BR_LB	Branco	Lisa	Brilhante	240x116x9

Para realizar a exposição dos revestimentos à radiação solar durante um período de tempo estabelecido e de forma adequada, as amostras foram dispostas

em prateleiras construídas com placas de MDF (*Medium Density Fiberboard*), de acabamento impermeável e de 20mm de espessura (**Figura 1**).

No total, foram confeccionados 4 painéis verticais (1,8 x 0,4 x 0,9m), possibilitando avaliar o comportamento das amostras em diferentes orientações. Os painéis verticais foram orientados para norte, sul, leste e oeste, em nível e prumo do chão. Desta forma, as orientações solares configuraram diferentes cenários de estudo.

Figura 1. Projeto do painel do experimento



Os painéis foram revestidos de EPS (*Expanded Polystyrene*), de 40mm de espessura, funcionando como limite adiabático no que diz respeito à condutividade das amostras e das placas. Além disso, o EPS foi moldado de acordo com os tamanhos das amostras para que estas fossem encaixadas nos seus respectivos lugares e que todas ficassem alinhadas no mesmo plano, impedindo a ocorrência de qualquer sombreamento entre elas (**Figura 2**).

Figura 2. EPS moldado



4.2 Coleta de dados

O monitoramento incluiu coleta de dados ambientais e temperatura superficial das amostras. O experimento foi realizado em Arcadas, distrito do município brasileiro de Amparo, no interior do Estado de São Paulo (**Figura 3**). Deste modo, o experimento ocorreu em uma área descampada, ampla e livre de qualquer obstrução e sombra.

O Município de Amparo situa-se na Mesorregião de Campinas e no Circuito das Águas Paulistas, com 73.145 habitantes (IBGE, 2022).

Figura 3. Indicação do local do experimento em escalas diferentes



Fonte: Google Earth (2022)

A **Tabela 2** apresenta as condições meteorológicas mensais de Amparo, ao longo do ano de 2021. Observou-se no verão, no mês de fevereiro, a maior média das temperaturas máximas, com 27,6°C. No inverno, em agosto, foi de 24,8°C.

Tabela 2. Dados climáticos de Amparo ao longo do ano de 2021

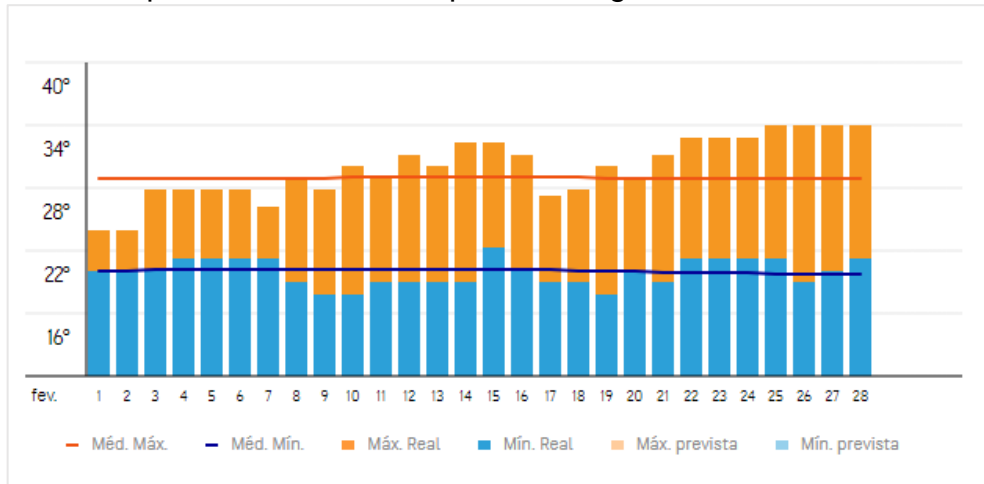
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temperatura média (°C)	22,7	22,9	22,1	20,9	18,1	17,2	17,1	18,5	20,6	21,7	21,5	22,4
Temperatura mínima (°C)	19,1	19	18,4	16,8	13,8	12,7	12,3	13,4	15,7	17,3	17,7	18,6
Temperatura máxima (°C)	27,2	27,6	26,8	25,8	23,2	22,7	22,9	24,8	26,7	27,3	26,5	27,1
Chuva (mm)	280	188	157	82	76	49	48	36	98	144	183	228
Umidade (%)	76	75	76	73	71	69	66	60	60	66	73	76
Dias chuvosos (d)	17	14	13	7	5	4	3	3	7	10	13	15
Horas de sol(h)	9	9,4	8,7	8,3	7,8	8,2	8,5	9,2	9,1	9,2	8,7	8,8

Fonte: Adaptado Climate-Data.org (2022)

No hemisfério sul, o verão inicia-se em dezembro e perdura até março. Nesta estação há aumento da temperatura do ar e ocorrências de chuvas de curta duração e de forte intensidade, principalmente no período da tarde, além disso apresenta dias mais longos que as noites (INPE, 2019). O experimento descritivo do verão iniciou-se

no dia 26 de fevereiro de 2022, em uma semana que ocorreram altas temperaturas e céu limpo. Observa-se na **Figura 4**, temperaturas próximas de 34°C a partir do dia 22 até o dia 28.

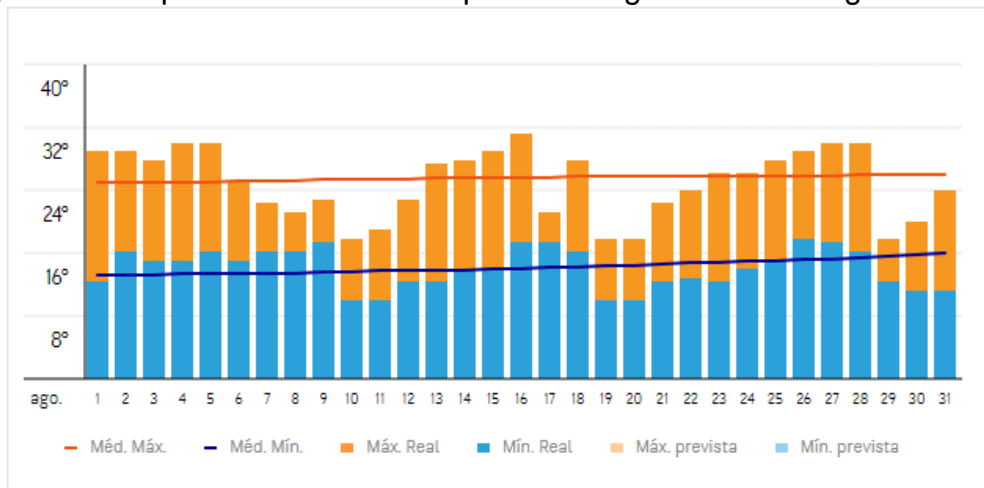
Figura 4. Temperatura do ar de Amparo ao longo do mês de fevereiro de 2022



Fonte: AccuWeather (2022)

O inverno inicia-se em junho e encerra em setembro (hemisfério sul). Esta estação é considerada a menos chuvosa do ano, e as temperaturas são amenas. Durante esta época ocorrem nevoeiros e neblinas, causadas pelas constantes inversões térmicas. Durante o período da tarde, a umidade relativa do ar pode registrar baixos valores de até 40% (INPE, 2019). O experimento descritivo do inverno foi iniciado no dia 12 de agosto de 2022, após a ocorrência de alguns dias com temperaturas mais baixas (**Figura 5**).

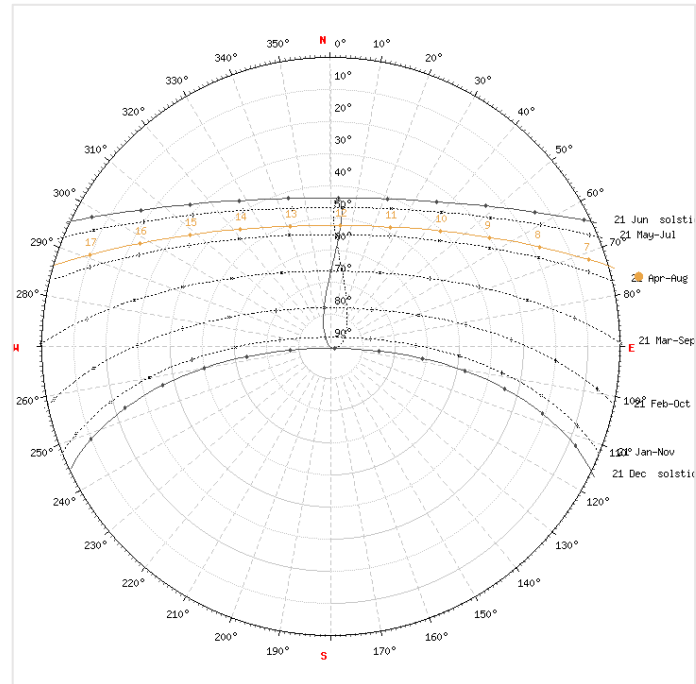
Figura 5. Temperatura do ar de Amparo ao longo do mês de agosto de 2022



Fonte: AccuWeather (2022)

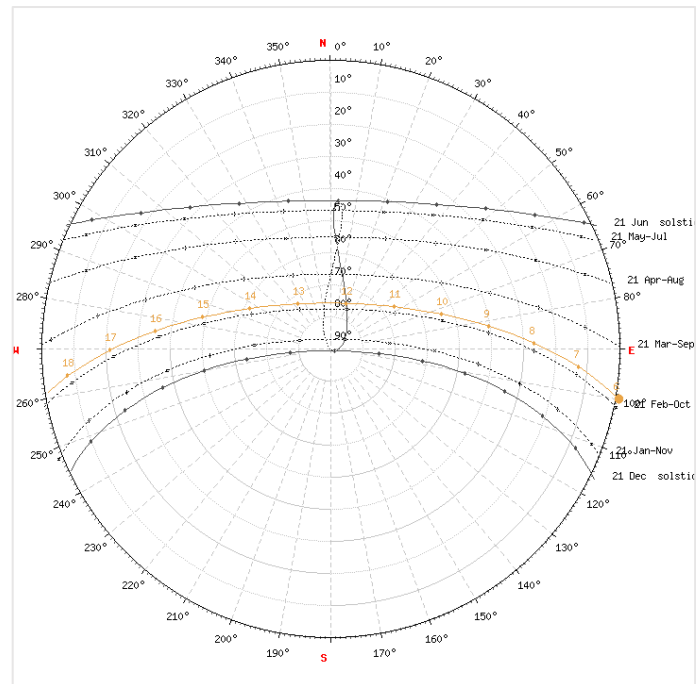
Nas **Figuras 6 e 7** apresentam-se as cartas solares referentes as coordenadas do local onde o experimento foi executado (-22.7259751, -46.8653234).

Figura 6. Carta solar dia 26 de fevereiro de 2022



Fonte: SunEarthTools (2022)

Figura 7. Carta solar dia 12 de agosto de 2022

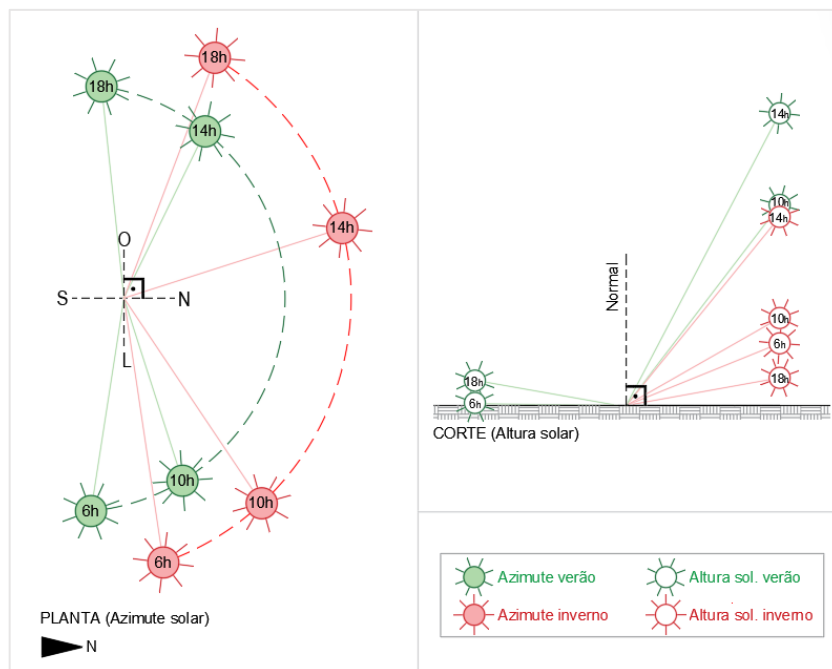


Fonte: SunEarthTools (2022)

Observa-se a trajetória do sol dos dias de medições no verão (a) e no inverno (b). No verão, o nascer do sol foi registrado às 06:02:03 e pôr do sol às 18:38:14, (fuso horário GTM-3). No inverno, o nascer do sol ocorreu às 06:34:24 e o pôr do sol às 17:50:52 (fuso horário GTM-3). Estas informações foram coletadas no *website SunEarthTools*, ferramenta útil para pesquisadores e designers.

Os dados de altura solar ($^{\circ}$) e azimute solar ($^{\circ}$) ao longo do dia também foram coletados, conforme exemplificado na **Figura 8**.

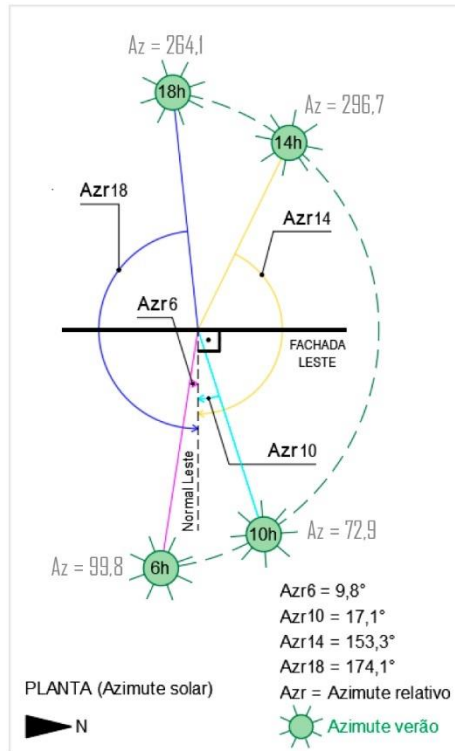
Figura 8. Altura solar e azimute solar esquemáticos



Para as análises posteriores, desenvolveu-se o azimute relativo. Trata-se do ângulo do azimute em relação a normal de cada fachada em consideração. Sendo assim, é possível compreender, em todos os casos, a influência do azimute em relação a sua proximidade ou seu afastamento da Normal de cada orientação solar (norte, sul, leste e oeste).

A **Figura 9** demonstra o azimute relativo, utilizando como exemplo a fachada leste no verão a cada 4 horas. Enquanto, às 18h, o azimute solar é $264,1^{\circ}$ o azimute relativo é $174,1^{\circ}$. No desenvolvimento das análises deste trabalho todas as orientações foram consideradas, a cada 2 horas.

Figura 9. Metodologia azimute relativo (fachada leste no verão)



As condições microclimáticas dos dias de experimento foram monitoradas através de datalogger portáteis, modelo Testo 174H, protegidos contra intempéries e radiação solar direta em abrigos meteorológicos modelo Onset RS1 (**Quadro 2**). Dados de temperatura do ar (°C) foram coletados a cada 10 minutos.

Quadro 2. Descrição dos instrumentos utilizados no monitoramento microclimático

Instrumentação		Medição	
Abrigo meteorológico	Testo 174H	Parâmetros	Frequência
	 Precisão: ±0,5°C (-20 a +70°C)	Temperatura do ar (°C)	A cada 10 minutos
Fonte: L. MUNIZ-GÁAL (2017).	Fonte: Texto SE & Co. (2022).		

Os painéis foram orientados para norte e sul, bem como para leste e oeste, e foram posicionados em contato opostamente. Além disso, todas as estantes foram instaladas no local com antecedência do início da medição, com tempo suficiente para ambientação das amostras (**Figura 10**).

Figura 10. Foto geral do experimento

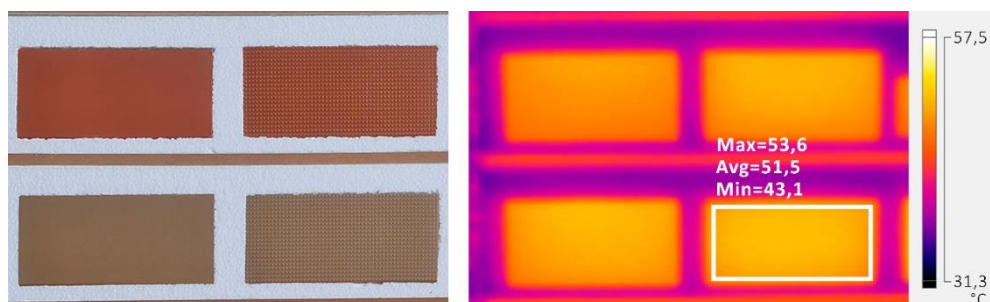


Para a coleta de temperatura superficial foi utilizada uma câmera de infravermelho (Fluke Ti110), posicionada sempre à frente, paralelamente aos painéis, com distância de aproximadamente 2m das amostras.

Sendo medição manualmente, foi pré-definido que as temperaturas superficiais fossem coletadas a cada duas horas ao longo do dia e da noite, das 6:00 (próximo ao nascer do sol) do dia 26/02/22 às 4:00 (antes do nascer do sol) do dia 27/02/22.

Para as análises, foi considerada a temperatura superficial horária de cada amostra correspondente ao valor médio das temperaturas da área total da superfície. Esses valores foram estimados selecionando a área específica nas imagens termográficas (**Figura 11**), usando o *software Fluke SmartView Classic 4.4.*, a partir das fotografias registradas com a câmera de infravermelho durante o experimento.

Figura 11. Imagem visível e imagem termográfica das amostras de estudo



*Avg = average = média

Alguns parâmetros foram configurados nos instrumentos utilizados na medição térmica. Para emissividade, considerou-se o valor de 0,9, indicado em estudos como padrão para materiais semelhantes (DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004). Os demais parâmetros da câmera foram mantidos conforme *default*.

A refletância solar foi coletada em ambiente laboratorial, com Espectrômetro Portátil ALTA II, desenvolvido pelo *Lunar and Planetary Institute*, de Houston, Texas. Este espectrômetro mede refletâncias correspondentes a radiações emitidas em onze comprimentos de onda, entre 470 e 940 nanômetros (7 na região do visível e 4 na região do infravermelho). Diversas pesquisas relatam boa confiabilidade deste instrumento e fácil manuseio (DORNELLES, 2008; DORNELLES; RORIZ, 2007; PEREIRA et al., 2015) (DORNELLES; RORIZ, 2007; MUNIZ-GÄAL et al., 2018; SOUZA; MENIM; KOWALSKI, 2020). O cálculo seguiu os métodos propostos por (PEREIRA et al., 2015), (SANTOS; MARINOSKI; LAMBERTS, 2009), (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2003), (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2012), depois de coletado as voltagens em todos os comprimentos de onda das amostras utilizando o espectrômetro. Com auxílio de uma caixa preta, durante a medição, as amostras foram completamente vedadas, em contato direto apenas com o espectrômetro (**Figura 12**).

Figura 12. Caixa preta utilizada no procedimento da medição óptica



4.3 Análises estatísticas

As análises estatísticas e as variáveis consideradas foram:

- **CORRELAÇÃO:** para calcular o Coeficiente de Correlação Produto-Momento de *Pearson* considerou-se dois conjuntos de variáveis, refletância solar (%) e temperatura superficial máxima (°C);
- **AGRUPAMENTO:** utilizou-se a análise estatística multivariada de Agrupamento de Observações, com intenção de classificar os revestimentos em grupos com base em suas semelhanças, considerando as variáveis: temperatura superficial a cada 2 horas de cada revestimento (°C) e refletância solar de cada revestimento (%). Aplicou-se o método: Distância Euclidiana de Ligação *Ward*;
- **ANOVA / TUKEY:** utilizou-se a análise estatística de variância de um fator de comparação, com intenção de determinar se as médias das temperaturas superficiais (°C) das orientações solares diferem. Para tanto foi considerada a temperatura superficial a cada 2 horas de cada revestimento em cada orientação solar (°C). Aplicou-se o procedimento de comparação de *Tukey*;
- **PCA:** utilizou-se a análise estatística multivariada de Componentes Principais, com intenção de sumarizar as diversas variáveis e identificar possíveis associações entre elas. As variáveis consideradas foram: temperatura superficial do período diurno (°C), altura solar (°) e azimute relativo (°).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são abordados os resultados alcançados mediante análises descritivas e análises estatísticas, observando os efeitos térmicos que ocorreram nas amostras de estudo (18 revestimentos cerâmicos), nas orientações solares (norte, sul, leste e oeste) e nas estações do ano (verão e inverno). Os resultados e as discussões foram desenvolvidos com estudos dos dados obtidos da medição térmica, que abrange a temperatura superficial e a temperatura do ar, coletados nos experimentos de exposição solar, e na medição óptica, contemplando a refletância solar de cada revestimento.

5.1 Análise climática dos períodos

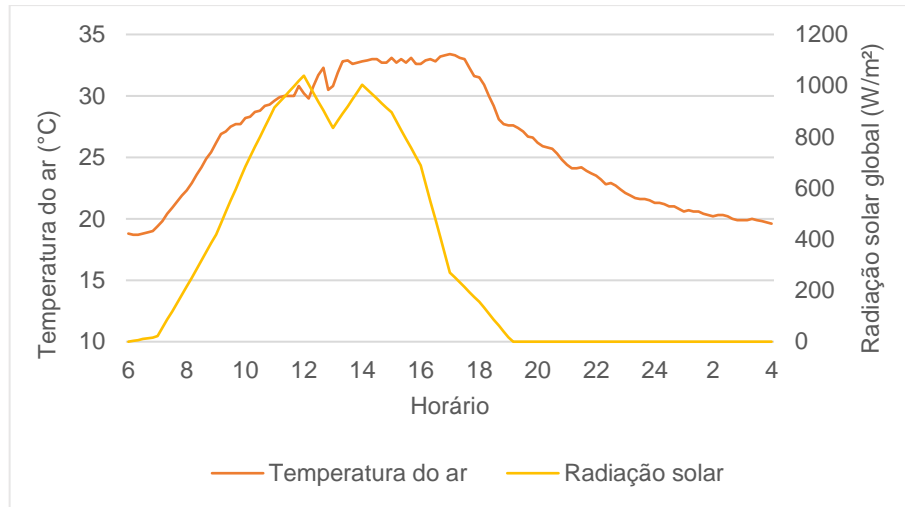
A **Figura 13** mostra o comportamento da temperatura do ar e da radiação solar global dos dias 26 e 27 de fevereiro de 2022, nas condições de verão. O período foi de estabilidade, sem precipitação e com calma. A temperatura máxima obtida foi 33,4°C enquanto a mínima foi 18,7°C, ambas atingidas durante o período diurno, às 17h e 6h10, respectivamente. Sendo assim, a amplitude diária foi 14,7°C.

Analisando a tendência da temperatura e da radiação ao longo do dia, observou-se pequenas quedas entre meio-dia e 13h. Este foi o único intervalo que houve a presença de algumas nuvens encobrendo o sol no local do experimento. A temperatura média do dia foi 25,6°C.

Considerando os intervalos durante o dia e durante a noite (**Tabela 3**), a temperatura média das 6 às 18h foi 28,7°C e das 18 às 4h foi 23,2°C. Em média, o período noturno, no verão, registrou 5,5°C a menos que o período diurno.

A radiação solar média do dia 26/02/22 foi 551 W/m² e a máxima registrada foi 1039 W/m² ao meio-dia (CETESB, 2022).

Figura 13. Temperatura do ar e radiação solar global dos dias 26 e 27/02/2022



Na **Figura 14** observa-se a temperatura do ar e da radiação solar global dos dias 12 e 13 de agosto de 2022, nas condições de inverno. O período também foi de estabilidade, sem precipitação e com calma. A temperatura máxima registrada foi de 24,4°C, às 14h50, enquanto a mínima foi 10,7°C, às 5h30. Com isso, a amplitude diária foi 13,7°C. Verificou-se a temperatura média do dia que foi 16,6°C.

Considerando os intervalos durante o dia e durante a noite, a temperatura média das 6 às 18h foi 19,6°C e das 18 às 4h foi 14°C (**Tabela 3**). Em média, o período noturno, no inverno, registrou 5,6°C a menos que o período diurno.

A radiação solar média do dia 12/08/22 foi 467 W/m² e a máxima registrada foi 824 W/m² às 13h (CETESB, 2022). Nota-se, diferentemente das condições de verão, que o dia se inicia com a radiação baixa no inverno.

Figura 14. Temperatura do ar e radiação solar global dos dias 12 e 13/08/2022

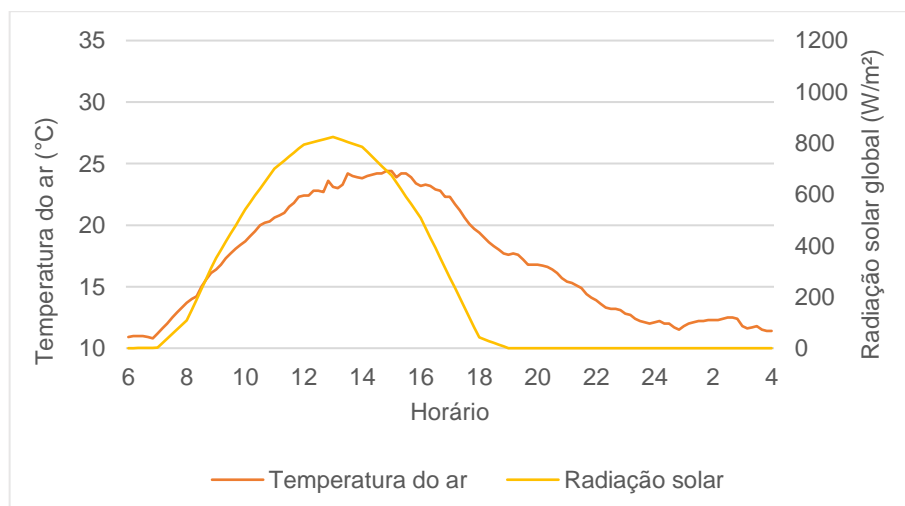


Tabela 3. Dados de temperatura do ar nos períodos diurno e noturno

Data	Temperatura do ar (°C)	Período diurno (6h-18h)	Período noturno (18h-4h)
26/02/22	Máxima	33,4	31,5
	Mínima	18,7	19,6
	Média	28,7	23,2
12/08/22	Máxima	24,4	19,4
	Mínima	10,8	11,4
	Média	19,6	14,0

A diferença entre as temperaturas máximas dos experimentos de verão e de inverno (33,4°C e 24,4°C, respectivamente) foi de 9°C, e entre as temperaturas mínimas (18,7°C e 10,7°C, respectivamente) foi de 8°C.

Tabela 4. Dados climáticos CETESB

	Data	Méd.	Máx.	Mês/ano	Méd.	Máx.	Máx. méd.	Período	Méd.	Máx.	Máx. méd.
Radiação solar global (W/m ²)	26/02	551	1039	Fev/22	177	1142	954	Verão	403	1142	861
	12/08	467	824	Ago/22	355	1082	694	Inverno	369	932	693
Temperatura do ar (°C)	26/02	26,9	33,8	Fev/22	24,9	34,4	30,3	Verão	24,7	34,7	30,1
	12/08	17,7	23,9	Ago/22	19,1	31,3	25,7	Inverno	19,5	34,5	26,5

*Dados obtidos pelo Sistema de Informações da Qualidade do Ar - QUALAR, da Estação Campinas - Taquaral (CETESB).

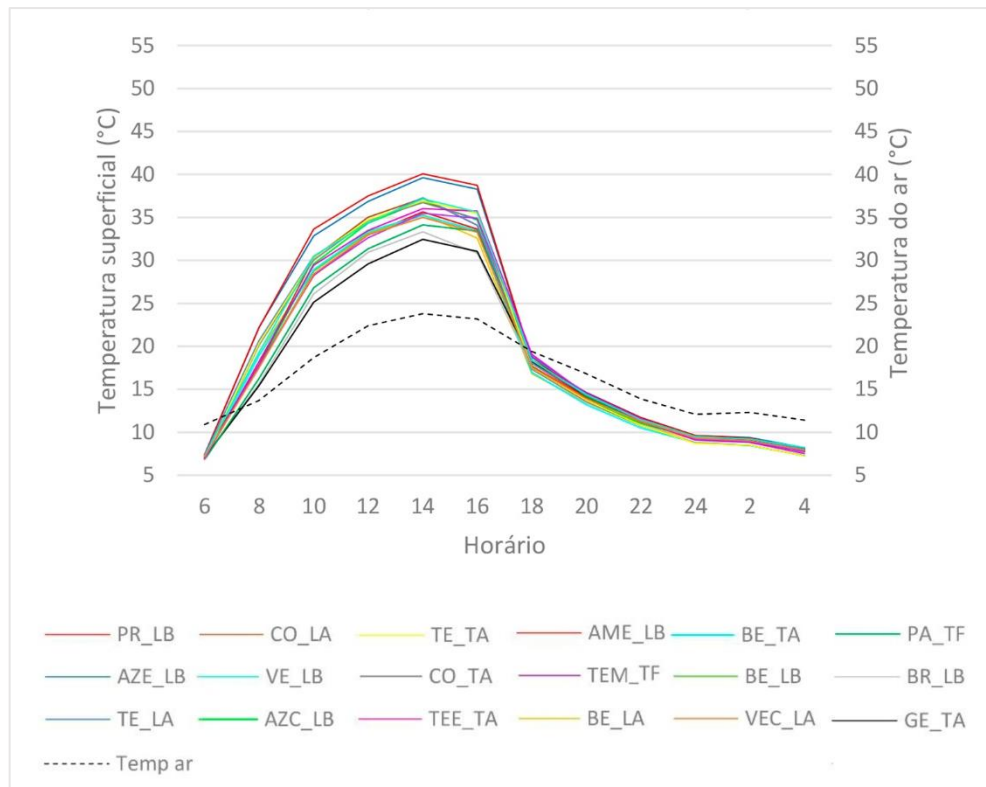
Observando acima a **Tabela 4**, que se apresentam os dados de temperatura do ar e radiação solar global coletados pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), dos dias (26/02/22 e 12/08/22), dos meses (fevereiro e agosto), e dos períodos (verão e inverno), confirmam-se que os dias que os experimentos ocorreram são, de fato, representativos do período de verão e de inverno.

Esta análise climática dos períodos que os experimentos foram realizados, é referente ao local que foram montados, de latitude 23°S. A relação da capacidade de uma cidade absorver radiação solar ser dependente dos albedos dos materiais e da sua geometria urbana, é influenciada pela latitude e potencializada em período de sol baixo (ARNFIELD, 1982; OKE, 1998; TERJUNG; ZYXW; LOUIE, 1973).

Como no verão, às 6h ocorreu o pico de resfriamento das temperaturas das amostras no inverno, conforme a **Figura 16**, com média de 7,1°C. Às 14h são observadas as máximas, com média de 36,1°C, obtendo a amplitude de 29°C, sendo aproximadamente a mesma amplitude do verão. Entretanto, comparando os experimentos, notou-se entre 16 e 18h, o resfriamento mais rápido no inverno.

Observando as temperaturas médias máximas de cada revestimento, destacam-se as amostras PR_LB e GE_TA que registraram a maior e a menor média máxima, respectivamente, tanto no verão quanto no inverno. A temperatura média máxima é de 50,2°C no verão para o revestimento preto (PR_LB) e 40,1°C no inverno. E para o revestimento gelo (GE_TA) é de 41°C no verão e 32,5°C no inverno.

Figura 16. Temperatura superficial das amostras no inverno



No geral, pesquisas relatam a baixa eficiência de superfícies de cores escuras em climas quentes (ALCHAPAR; CORREA, 2020; ALCHAPAR; CORREA; CANTÓN, 2012, 2014). A pintura de fachada mais desfavorável para Alchapar e Correa (2020) é a fosca de cor preta, apresentando 37% de Índice de Refletância Solar. A diferença na temperatura superficial encontrada entre essa pintura e a branca brilhante, de maior desempenho, foi de 17,5°C (ALCHAPAR; CORREA, 2020). No presente estudo, a

diferença na temperatura superficial obtida entre as amostras gelo e preta (GE_TA e PR_LB), é de 9,2°C entre as médias máximas no verão, e 7,6°C entre as médias máximas no inverno.



















A partir da **Tabela 5**, observa-se a temperatura superficial dos revestimentos em cada uma das fachadas. Seguem, também, as respectivas refletâncias solares, calculadas a partir da medição laboratorial.

No verão, as maiores temperaturas máximas dos 18 tipos de revestimento foram observadas na fachada oeste (às 16h). Já no inverno, as amostras registraram as maiores temperaturas máximas na fachada norte (às 14h), exceto GE_TA e TEE_TA, com (respectivamente) 0,5°C e 0,2°C superiores na fachada oeste (às 16h).

Analisando as temperaturas mínimas no verão, as menores também foram obtidas na fachada oeste (às 6h), para todos os tipos de revestimento, enquanto no inverno, na fachada leste (às 6h), exceto CO_LA, com 3,4°C inferiores na fachada sul (às 8h).

Os revestimentos avaliados neste estudo são popularmente observados nos centros urbanos. Não se considerou materiais com refletâncias acima de 51%, vez que, estudos relatam o aumento de cargas radiativas (em climas quentes) com o aumento excessivo do albedo em superfícies de cânions urbanos, podendo causar desconforto aos pedestres apesar da tendência em reduzir a temperatura do ar (ALCHAPAR et al., 2017; ERELL et al., 2014).

Tabela 5. Temperatura superficial média das amostras em cada orientação

Amostra e refletância (%)	Temperatura superficial (°C)	Leste		Norte		Oeste		Sul	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
AME_LB 29,6 	Máxima	48,1	38,9	45,9	45,7	61,5	45,2	38	28,1
	Mínima	17,2	6,9	17	7,2	16,8	7,8	17,6	7
	Média	29,9	19,6	27,8	21,2	30,3	19,1	27	16
AZC_LB 20,6 	Máxima	53,3	44,5	51,3	49,4	66,2	48,1	39,1	26,4
	Mínima	17	6,7	16,9	7	16,7	7,7	17,4	6,8
	Média	30,7	20,1	29	21,3	31	19,4	27,6	15,6
AZE_LB 3,7 	Máxima	59,6	50,2	52,6	55,7	74,4	54,4	41,1	29,5
	Mínima	17,4	7	17,1	7	17	8,1	17,3	7,3
	Média	32,6	22,4	29,6	23,2	32,8	20,6	28,3	16,8
BE_LA 25,4 	Máxima	54,7	42,9	52,3	48,5	64,2	45,9	40,3	26,5
	Mínima	17,1	7	16,8	7,9	16,5	7	17,4	7,2
	Média	30,4	20	29	20,6	30,7	18,7	27,7	15,2
BE_LB 31,0 	Máxima	52,9	43,6	51,7	47,8	63,1	45,4	39	25,5
	Mínima	17,3	6,9	16,9	6,9	16,9	7,9	17,1	7,1
	Média	30,3	19,9	29	20,8	30,6	18,6	27,5	15,3
BE_TA 24,5 	Máxima	55,8	44,3	53,7	49,4	65,6	46,8	38,6	25,4
	Mínima	16,7	6,7	16,8	6,9	16,2	6,9	17,1	6,8
	Média	30,3	19,7	29	21	30,7	18,5	27,3	14,8
BR_LB 50,5 	Máxima	44,5	34,7	45	41,4	55,5	40,6	38,3	25,9
	Mínima	17	6,8	16,8	7	16,6	7,8	17,5	7
	Média	28,6	18,1	27,3	18,9	28,6	18,1	26,7	15,4
CO_LA 10,5 	Máxima	55,1	43,9	51,3	50,4	67,7	49,3	40,8	28,8
	Mínima	17,2	7,3	17,1	7,6	16,6	7,1	17,5	3,9
	Média	31,2	20,8	29	21,3	31,6	19,6	27,9	15,3
CO_TA 10,4 	Máxima	56,3	45,7	52	50,7	67,9	49	39,6	27,3
	Mínima	16,8	6,7	17,1	7	16,2	6,8	17,1	6,8
	Média	31,0	20,5	28,7	21,5	31,6	19,1	27,4	15,4
GE_TA 39,5 	Máxima	41,1	30,9	41,5	39,5	53,6	40	37,1	27,4
	Mínima	16,6	6,7	16,9	7,2	16,5	7,6	17,5	6,8
	Média	28	17,5	26,7	18,7	28,6	18,4	26,3	15,6
PA_TF 33,1 	Máxima	45,5	36,6	44,6	44,7	61	44,6	37,3	26,6
	Mínima	16,7	6,5	16,7	6,8	16,5	7,4	17,3	6,5
	Média	29	18,7	27,6	20	30,2	18,9	26,5	15,2
PR_LB 0,3 	Máxima	60,9	51,8	53,3	56,2	76,1	55,3	41,8	29,7
	Mínima	17,6	7,1	17,2	7,1	17,2	8	17,3	7,3
	Média	32,9	22,7	30	23,5	33,6	20,7	28,6	16,8
TE_LA 11,6 	Máxima	55,7	44,6	49,7	50,2	68,3	48,8	40,4	29,6
	Mínima	17,1	7,1	17	7,7	16,4	7,1	17,5	7,5
	Média	31,7	21	28,8	21,1	31,9	19,7	27,9	16,5
TE_TA 10,1 	Máxima	56,1	46	51,5	50,6	69,3	50,2	39,7	28
	Mínima	16,7	6,7	16,8	6,9	16,1	6,7	17,1	6,9
	Média	31,1	20,6	28,6	21,4	31,9	19,4	27,4	15,7
TEE_TA 12,5 	Máxima	53,8	44,6	49,2	48,7	68,2	48,9	39,4	27,6
	Mínima	16,9	6,6	16,9	3,7	16,4	7,5	17	6,9
	Média	31	20,2	28,5	21,3	21,7	19,5	27,4	15,7
TEM_TF 19,9 	Máxima	50,8	41,5	48,2	47,7	64	47,4	38,1	27,2
	Mínima	17	6,6	16,8	6,7	16,5	7,7	17	7
	Média	30,4	19,8	28	21	30,9	19,2	27	15,6
VE_LB 16,2 	Máxima	53	45,1	48	49,4	66,2	48,4	39,4	28,6
	Mínima	17,2	6,9	17,1	7,2	17,1	7,9	17,6	6,9
	Média	31	20,8	28,6	21,8	31,4	19,7	27,5	16,2
VEC_LB 31,3 	Máxima	52,1	42,5	51,2	47,1	63,0	45,6	38,8	25,7
	Mínima	17,2	6,8	16,9	6,8	16,8	7,9	17	7,2
	Média	30,2	19,7	28,8	20,7	30,3	18,8	28,2	16,3

Nas **Figuras 17 e 18**, é possível interpretar o comportamento geral de cada revestimento, em cada orientação solar, e descrevê-los a partir das temperaturas superficiais e das refletâncias solares (**Tabela 5**).

Figura 17. Boxplot de temperatura superficial das amostras no verão

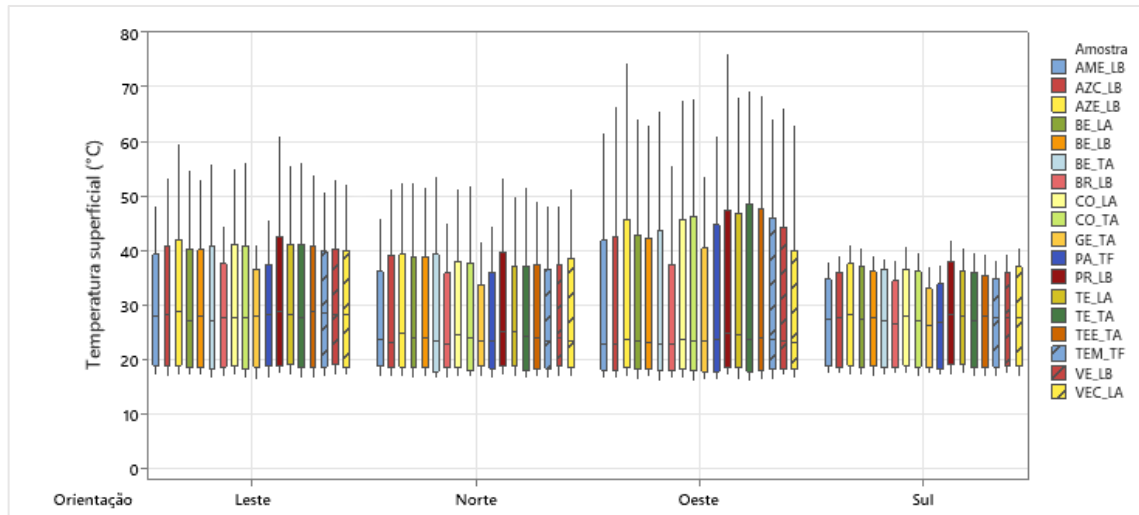
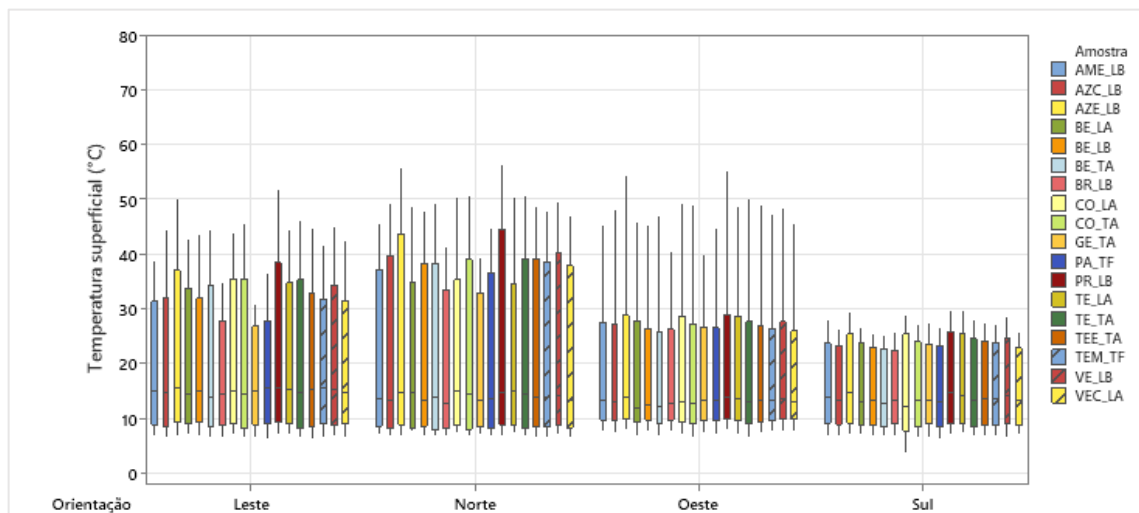


Figura 18. Boxplot de temperatura superficial das amostras no inverno



Destacam-se as amostras GE_TA (gelo texturizado acetinado), BR_LB (branca lisa brilhante) e PA_TF (palha texturizada fosca), que apresentam as cores mais claras do conjunto de amostras, e obtiveram de refletância solar: 39,5%, 50,5% e 33,1%, respectivamente. No verão, a GE_TA registrou de temperatura máxima de 37,1 a 53,6°C dependendo da fachada. A BR_LB de 38,5 a 55,5°C, e a PA_TF de 37,3 a 61°C. No inverno, a GE_TA registrou de temperatura máxima de 27,4 a 40°C, a BR_LB de 25,9 a 41,4°C, e a PA_TF de 26,6°C a 44,7°C.

Destacam-se também, as amostras PR_LB, AZE_LB, TE_TA, TE_LA e TEE_TA, CO_TA e CO_LA, que apresentam tonalidades de cores escuras (preto, azul, terracota e concreto), e obtiveram de refletância solar: 0,3%, 3,7%, 10,1%, 11,6%, 12,5%, 10,4% e 10,5%, respectivamente. Destas amostras, a PR_LB, com 76,1°C no verão, e 56,2°C no inverno, atingiu as maiores temperaturas máximas.

Tem-se a amplitude de 50,2°C entre temperaturas máximas extremas registradas, considerando 25,9°C (BR_LB, no inverno) e 76,1°C (PR_LB, no verão).

5.3 Agrupamento dos revestimentos

Esta seção destacará os dados obtidos da medição óptica realizada com as amostras do estudo, observando juntamente as temperaturas superficiais máximas atingidas nos experimentos (verão e inverno).

Possuindo duas variáveis quantitativas, foi possível obter a medida da proximidade da relação entre elas. Assim, tem-se -0,95 de Coeficiente de Correlação de *Pearson* entre refletância e temperatura superficial máxima das amostras no experimento que ocorreu no verão, e -0,92 no inverno. Portanto, existe forte correlação inversa. À medida que a refletância solar diminui, a temperatura superficial aumenta, ressaltando resultados de outros estudos experimentais que indicam que o principal fator de influência no desempenho térmico de materiais expostos ao sol é a refletância solar (LEVINSON et al., 2005; SYNNEFA; SANTAMOURIS; APOSTOLAKIS, 2007).

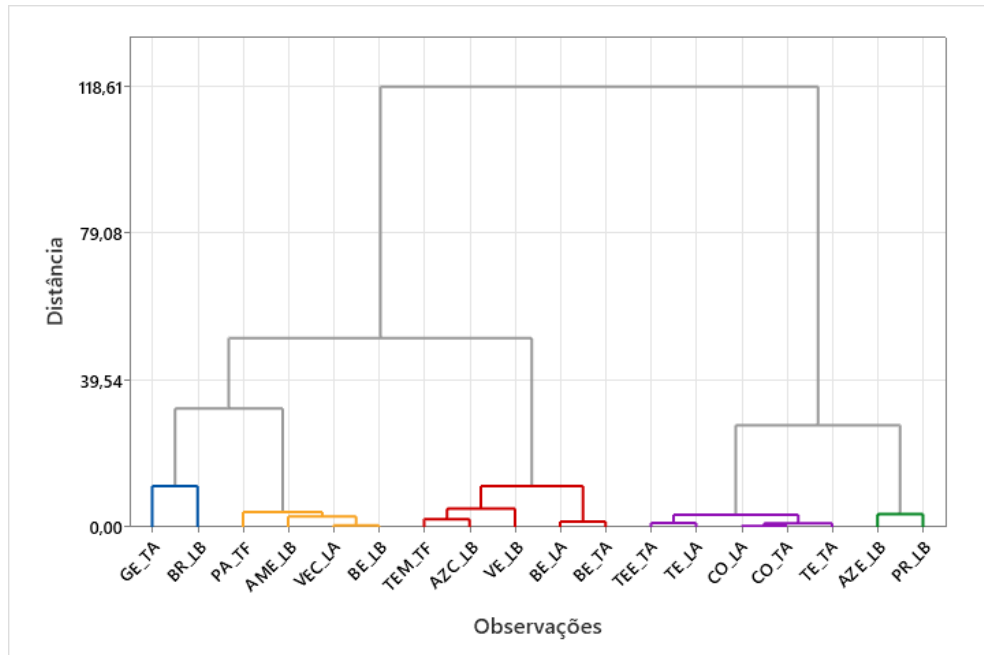
Conforme a **Tabela 5**, a maior refletância encontrada foi 50,5% na amostra de cor branca (BR_LB), que atingiu de temperaturas máximas 55,5 e 41,4°C, no verão e no inverno, respectivamente. Nos dados de Muniz-Gäal et al. (2018) a refletância de telhas brancas variou de 37 a 66%, dependendo do tipo de material. A telha branca de cerâmica esmaltada, por exemplo, obteve 66% (MUNIZ-GÄAL et al., 2018).

O revestimento de cor preta (PR_LB), que atingiu 76,1°C, a maior temperatura registrada no presente estudo, obteve 0,3% de refletância, e de cor azul escuro (AZE_LB) 3,7%. De fato, estudos que analisam superfícies escuras registram valores reduzidos de refletância, na faixa de até 5% (SANTAMOURIS; SYNNEFA; KARLESSI, 2011; SYNNEFA; SANTAMOURIS; APOSTOLAKIS, 2007).

Para identificar desempenhos similares entres as diferentes amostras, a respeito da relação entre as variáveis consideradas neste item (refletância solar e

temperatura superficial), utilizou-se a análise de agrupamento (análise multivariada), conforme a **Figura 19**. Observou-se no dendrograma a divisão dos revestimentos em cinco conjuntos.

Figura 19. Agrupamento das amostras por refletância e temperatura superficial



Os grupos foram nomeados conforme as refletâncias médias obtidas (R45, R31, R21, R11 e R02). Na **Tabela 6** seguem os dados referentes ao agrupamento, enfatizando a correlação entre refletância solar e temperatura superficial máxima.

Observando as médias desta análise, tem-se o intervalo de aproximadamente 10% de refletância entre os grupos, exceto entre R31 e R45, com aproximadamente 14%. No entanto, observando as temperaturas máximas médias, tem-se entre os grupos R02 e R11 a diferença de 6,4°C e entre os grupos R31 e R45 6,7°C, enquanto entre os grupos intermediários essa diferença não passa de 2,9°C (entre R21 e R31) e de 2,1°C (entre R11 e R21).

A amplitude da temperatura máxima média entre o grupo R02, de menor refletância média (2%) e o grupo R45, de maior refletância média (45%) é de 18,1°C. Sendo assim, pode-se afirmar que em uma fachada urbana, que venha substituir um revestimento de baixíssima refletância (albedo= 0,02), por um revestimento de média refletância (albedo= 0,45), pode alcançar a redução em média de 28% de calor na sua superfície (18°C).

Tabela 6. Refletância e temperatura superficial máxima média dos grupos

Grupo	Amostra Cor	Refletância (%)	Refletância média (%)	Temp. superficial máxima (°C)		Temp. superficial máxima média (°C)		Temp. superficial máxima média (°C)
				Verão	Inverno	Verão	Inverno	
<u>R45</u>	GE_TA Gelo	39,5	45	53,6	40	54,6	40,7	47,5
	BR_LB Branco	50,5		55,5	41,4			
<u>R31</u>	PA_TF Palha	33,1	31,2	61	44,7	62,2	46,3	54,2
	AME_LB Amarelo	29,6		61,5	45,7			
	VEC_LA Verde claro	31,3		63	47,1			
	BE_LB Bege	31		63,1	47,8			
<u>R21</u>	TEM_TF Terracota médio	19,9	21,3	64	47,7	65,2	48,9	57,1
	BE_LA Bege	25,4		64,2	48,5			
	BE_TA Bege	24,5		65,6	49,4			
	VE_LB Vermelho	16,2		66,2	49,4			
	AZC_LB Azul claro	20,6		66,2	49,4			
<u>R11</u>	TEE_TA Terracota escuro	12,5	11	68,2	48,9	68,3	50,2	59,2
	CO_LA Concreto	10,5		67,7	50,4			
	TE_LA Terracota	11,6		68,3	50,2			
	CO_TA Concreto	10,4		67,9	50,7			
	TE_TA Terracota	10,1		69,3	50,6			
<u>R02</u>	AZE_LB Azul escuro	3,7	2	74,4	55,7	75,3	56	65,6
	PR_LB Preto	0,3		76,1	56,2			

Tabela 7. Redução na temperatura máxima do ar aumentando o albedo urbano

Grupos correspondentes do presente trabalho	Redução média temp. máx. superficial (°C)	Aumento albedo urbano *	Redução temp. máx. ar (°C) *	Redução média temp. máx. ar (°C) *	Temp. ambiente (°C) *	Local *	Referência *
R02 – R11	6,4	0,05 – 0,10	1,8	0,7	34	Athenas	GRBES (2016)
			1,4		32	USA	Sailor (1995)
			0,1		28	Áustria	Huynh e Eckert (2012)
			0,2		28	Vietnam	Huynh e Eckert (2012)
			0,2		31	Coreia	Lynn et al. (2009)
R02 – R21	8,5	0,03 – 0,07	0,5	0,7	33	Canada	Wang (2016)
			0,9		35,5	Itália	Pisello et al. (2016)
			0,7		33	Canada	Wang (2016)
			0,6		33		Middel and Chhetri (2014)
			0,31		31		Lynn et al. (2009)
R02 – R21	8,5	0,05 – 0,15	0,7	0,7	33	USA	Georgescu et al. (2014)
			1		33		Taha (2008a)
			1,1		34		Taha (2008a)
			0,5		28		Sailor (2002)
			0,5		25	UK	Omalley (2015)
			0,8		29	Grécia	GRBES (2016)
			1,4		35		Zoras (2014)
			0,2		30	Sri Lanka	Emmanuel et al. (2007)
			0,3		34	França	Pisello et al. (2016)
			1		29	Espanha	Tumini (2014)
R11 – R21	2,1	0,1 – 0,2	1,5	1,5	35,3	Grécia	Synnefa et al. (2008)
			1		35	USA	Gober et al. (2009)
			1,3		33	Brasil	Alchapar e Correa (2016)
			0,7		36	Argentina	Alchapar e Correa (2016)
			0,62		31		Savio (2006)
			3		32	USA	Rosenfeld (1995)
			1,5		32		Rosenfeld (1998)
			3,5		30		Taha (2008)
			0,9		29	França	Martins (2016)
			0,4		35	Japão	Huang J. et al. (2009)
R11 – R31	5	0,15 – 0,25	1,8	1,6	37	Grécia	GRBES (2016)
			1,2		30	Sri Lanka	Emmanuel et al. (2007)
			1,5		33		Georgescu (2012)
			1,85		30		Georgescu et al. (2014)
			1		35	USA	Georgescu et al. (2014)
			2,1		33		Taha (2008b)
			2,1		34		Taha (2008b)
			2		34		Taha (2008b)
			1,5		34		Taha (2008b)
			2,5		36		GRBES (2016)
R21 – R31	2,9	0,2 – 0,3	1,4	1,6	37,5		GRBES (2016)
			1,3		35		GRBES (2016)
			1		35	Grécia	Kyriakodis et al. (2016)
			1,3		29		Georgakis et al. (2014)
			1,3		36		Papadopoulos (2016)
			2,2		34		Camprostrini (2013)
			0,5		33,5	Áustria	Maleki e Mahdavi (2016)
			1,8		39	Itália	(Ambrosini et al., 2014)
			2		34	USA	Georgescu et al. (2014)
			1,9		34	Grécia	GRBES (2016)
R21 – R45	9,6	0,25 – 0,35	2,3	2,3	30	USA	Georgescu et al. (2014)
			2,2		25		Georgescu et al. (2014)
			2,5		30		Zhou e Shepherd (2010)
R31 – R45	6,7	0,3 – 0,4	2,2	2,1	35,3	Grécia	Synnefa et al. (2008)
			2		28		USA

*Fonte: Adaptado SANTAMOURIS et al. (2017).

Estudos de simulação climática que consideram materiais mais reflexivos nas superfícies das cidades relatam que o aumento do albedo urbano pode gerar a redução na temperatura máxima no ar (KYRIAKODIS et al., 2016). A **Tabela 7** foi

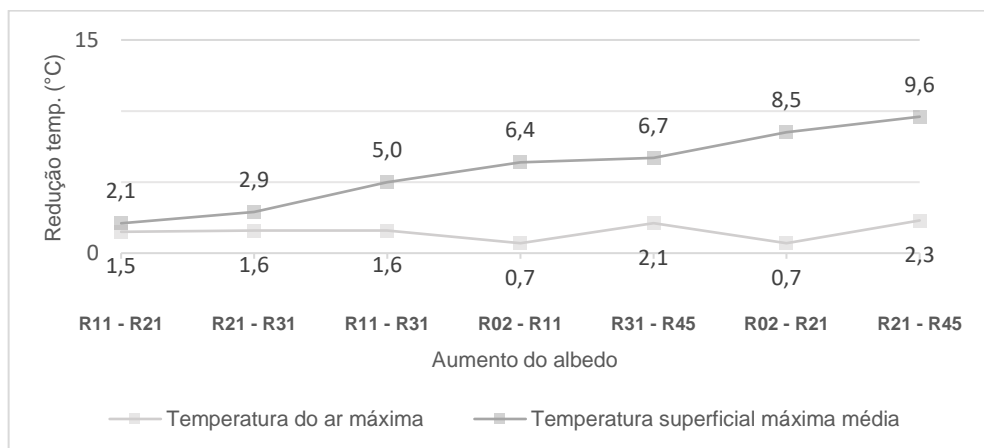
desenvolvida com os resultados desses estudos. Nesta análise considerou-se os intervalos de aumento de albedo definidos nas pesquisas (SANTAMOURIS et al., 2017) e foram relacionados com os intervalos de aumento de albedo possíveis entre os grupos previamente apresentados acima (R02, R11, R21, R31 e R45), para observar a redução na temperatura do ar.

Assim, foi possível observar que de R21 para R45 tem-se a maior redução média na temperatura máxima do ar, de 2,3°C. Ressaltando que, em média, tem-se de R21 para R45, a redução de 9,6°C na temperatura superficial máxima.

De R02 para R45, mesmo com a redução de 18°C na temperatura superficial (28%), como descrito anteriormente, pode reduzir, de acordo com a média obtida dos trabalhos especificados na **Tabela 7**, 1,3°C na temperatura do ar.

A **Figura 20** ressalta os dados analisados acima, contemplando o aumento do albedo e a redução, em média (°C), na temperatura superficial máxima e na temperatura do ar máxima.

Figura 20. Redução na temperatura superficial máxima média e na temperatura do ar máxima conforme aumento do albedo



*Fonte: A temperatura do ar máxima é adaptada de SANTAMOURIS et al. (2017).

Seguindo o agrupamento realizado, as curvas de refletância dos revestimentos cerâmicos são apresentadas na **Figura 21**.

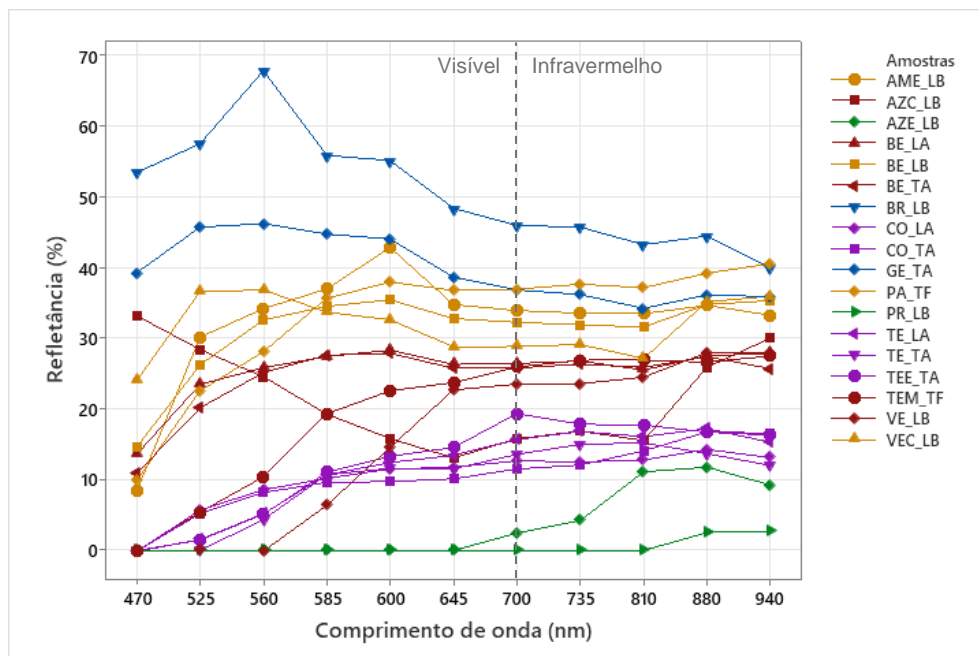
A amostra branca (BR_LB), que registrou a maior refletância total entre os demais revestimentos (50,5%), apresenta as maiores refletâncias nos comprimentos de onda de 470 a 880 nanômetros, sua refletância máxima com 67,9% foi atingida em 560nm de comprimento de onda. Revestimentos brancos apresentam curvas espectrais altas, com refletâncias muito altas na região visível, que decrescem lentamente no infravermelho (SYNNEFA; SANTAMOURIS; LIVADA, 2006).

Observou-se também a discrepância da amostra de cor azul claro (AZC_LB). Notou-se, nela, a queda da refletância nos comprimentos de onda de 470 a 625nm, constância até 810nm, e crescimento até 940nm. Sua refletância mínima foi de 13,1% no comprimento de onda de 645nm. No total, a amostra AZC_LB apresenta refletância de 20,6%.

As amostras: AZE_LB e PR_LB, demonstram a tendência da refletância de cores escuras em permanecer constante na região visível, e crescente na região do infravermelho. Mas no geral, constatou-se constância da refletância das amostras na região do infravermelho (de 700 a 940nm).

Das amostras de cor terracota (TE_LA, TE_TA, TEE_TA, TEM_TF), TEM_TF (terracota médio, texturizada e fosca) se diferencia por possuir refletâncias mais altas a partir do comprimento de onda de 560nm. As demais, que possuem pigmentação mais escura, apresentam-se semelhantes. Curvas de telhas de cerâmica rústica terracota, demonstram no geral crescimento na região visível, e depois tendem à estabilização (MUNIZ-GÄAL et al., 2018).

Figura 21. Curvas de refletância espectral dos revestimentos cerâmicos



5.4 Análise das fachadas

Neste item, as análises serão concentradas na leitura do comportamento térmico das orientações solares de fachadas (norte, sul, leste e oeste).

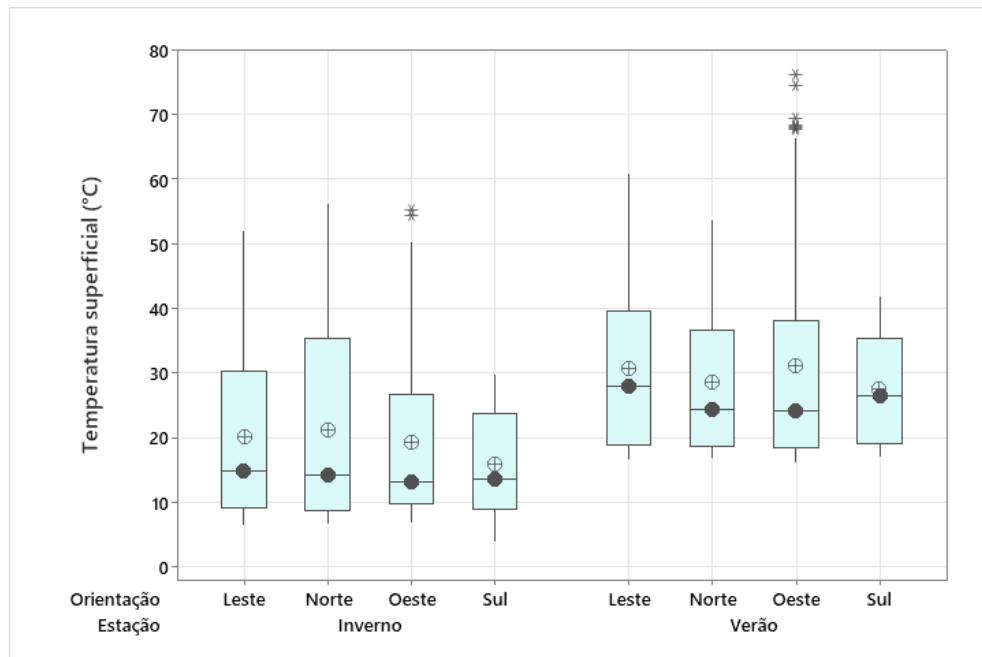
Para o desenvolvimento da **Tabela 8** considerou-se todas as temperaturas superficiais medidas a cada 2 hora, no período de verão e no período de inverno. Por exemplo, nos dados da orientação leste, a máxima registrada no experimento de verão foi 60,9°C. Este dado é referente a amostra PR_LB, que ocorreu às 10h. Já a mínima ocorreu na amostra GE_TA, às 6h. Enquanto a média abrange a temperatura superficial dos 18 tipos de revestimentos expostos.

Contatou-se que a máxima ocorreu na fachada oeste no verão (76,1°C), com diferença de 20,8°C para o inverno. A mínima foi na fachada sul no inverno (3,9°C), com diferença de 13,1°C para o verão. A amplitude entre a máxima e a mínima é de 72,2°C.

Em médias, no verão e no inverno, respectivamente, a fachada leste apresenta 30,6 e 20,1°C, a fachada norte 28,5 e 21,0°C, a fachada oeste 31,0 e 19,2°C, e a fachada sul 27,5 e 15,7°C. Observando apenas estes dados, notou-se a tendência de similaridade entre as fachadas no verão. E no inverno, apenas a sul apresenta diferença significativa entre as fachadas.

Tabela 8. Temperatura superficial das fachadas

Orientação	Temperatura superficial (°C)	Verão	Inverno
Leste	Máxima	60,9	51,8
	Mínima	16,6	6,5
	Média	30,6	20,1
Norte	Máxima	53,7	56,2
	Mínima	16,7	6,7
	Média	28,5	21
Oeste	Máxima	76,1	55,3
	Mínima	16,1	6,7
	Média	31	19,2
Sul	Máxima	41,8	29,7
	Mínima	17	3,9
	Média	27,5	15,7

Figura 22. Boxplot de temperatura superficial das fachadas

Na **Figura 22** destacam-se no período de inverno as fachadas norte e sul. Os revestimentos à norte, atingiram temperaturas mais altas, e à sul as temperaturas se mantiveram mais baixas.

No período de verão, embora as temperaturas se concentrem em intervalos próximos em todas as fachadas, na fachada oeste algumas amostras apresentam dados discrepantes da média. As temperaturas máximas registradas às 16h no verão na fachada oeste são de 53,6 a 76,1°C dependendo do revestimento. No inverno também ocorrem outliers na fachada oeste. As temperaturas máximas registradas às 14h no inverno na fachada oeste são de 40 a 55,3°C dependendo do revestimento.

Constatou-se anteriormente que as fachadas no verão poderiam apresentar similaridade, por possuírem em média: 30,6°C (leste), 28,5°C (norte), 31,0°C (oeste) e 27,5°C (sul). Porém, observando os ganhos e perdas de calor a cada 2 horas, nota-se o contrastante comportamento entre elas.

A **Figura 23**, que apresenta os dados na condição de verão, mostra a fachada leste com rápido aquecimento e resfriamento em relação as demais. A partir das 10h esta fachada já está perdendo calor e totalizou 35,7°C de ganho de calor. Os seus principais ganhos e perdas de calor ocorre ente 6 e 12h (**Tabela 9**).

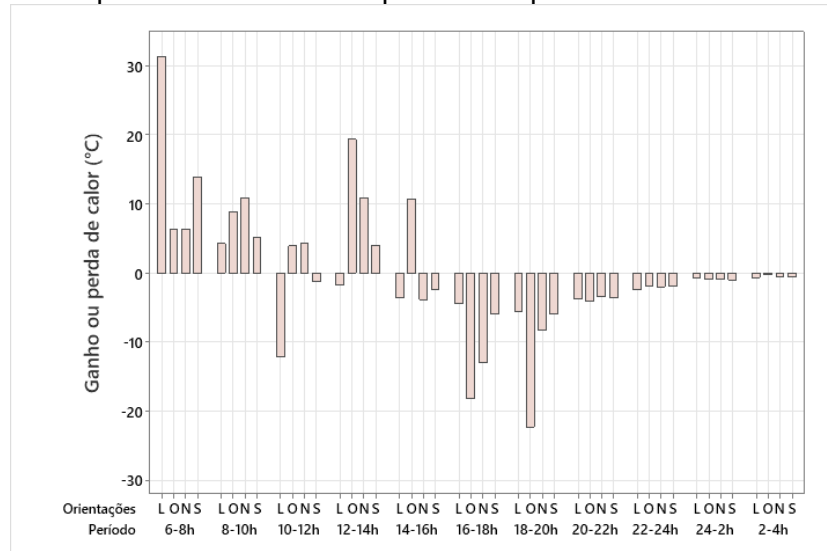
Por outro lado, na fachada oeste há ganho de calor das 6 às 16h, totalizando 49,6°C de ganho de calor. Esta fachada aquece mais lentamente entre 6 e 12h, tem

pico entre 12 e 14h (19,5°C), é a única que ainda está em aquecimento entre 14 e 16h. Seu resfriamento é significativo entre 16 e 20h (40,5°C).

As fachadas oeste e norte, até meio dia, não apresentam comportamento consideravelmente diferente. O ganho de calor da fachada oeste entre 14 e 16h (10,8°C) foi semelhante a fachada norte entre 12 e 14h (11°C). Ou seja, em relação a oeste, o resfriamento da fachada norte iniciou antes e é mais lento.

A sul é a fachada que ganhou menos calor (23,2°C), o único intervalo que esteve mais quente que a fachada oeste e a norte, foi entre 6 e 8h. Neste período ganhou 14°C, sendo menos da metade do calor que a leste ganhou (31,4°C).

Figura 23. Ganho e perda de calor na temperatura superficial média das fachadas no verão



Na **Figura 24**, que apresenta os dados na condição de inverno, mostra que a fachada leste ainda inicia o resfriamento mais cedo que as demais fachadas, como no verão. Porém o resfriamento é mais lento e distribuído (entre 10 e 18h).

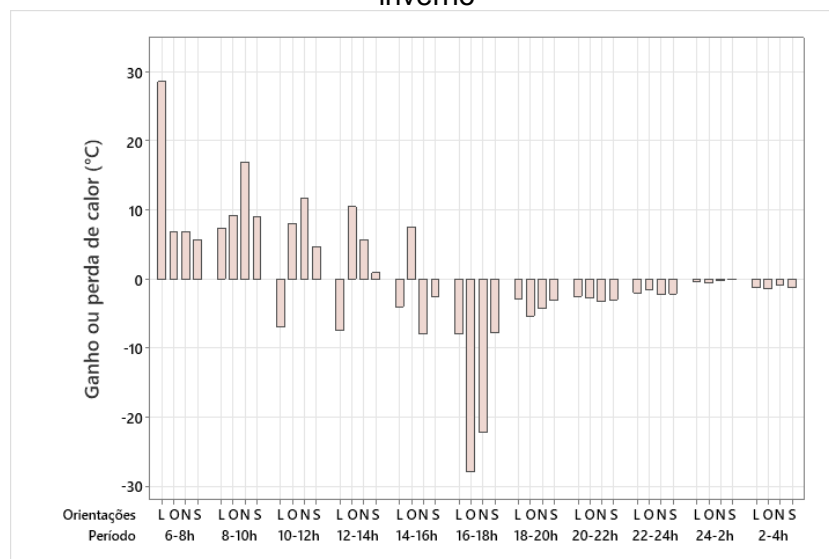
Constatou-se anteriormente observando as temperaturas médias das fachadas no inverno, conforme **Tabela 8**, que a sul apresenta discrepância das demais. Nota-se que é uma fachada que além de aquecer menos, com 20,4°C de ganho de calor (**Tabela 9**), apresenta maior distribuição do ganho e da perda de calor ao longo do experimento todo (entre 6 e 4h).

No inverno, a fachada oeste, totalizando 42,2°C de ganho de calor (**Tabela 9**), é a única que apresenta aquecimento até às 16h, como no verão. Notou-se o intenso resfriamento no período seguinte, entre às 16 e 18h (27,9°C). Portanto a fachada

oeste possui a capacidade de resfriamento mais rápido no período de inverno, comparado ao verão.

A fachada norte se destaca no inverno entre às 8 e 12h (como no verão), ganhando mais calor que as demais, totalizando 28,8°C de ganho de calor neste intervalo. Entre às 16 e 18h também é observado o significativo resfriamento desta fachada (22,2°C), com 5,7°C de diferença do resfriamento da fachada oeste (27,9°C).

Figura 24. Ganho e perda de calor na temperatura superficial média das fachadas no inverno



Considerando o ganho de calor total na **Tabela 9**, com 49,6°C no verão e 42,2°C no inverno, pode-se afirmar que a fachada oeste é termicamente menos eficiente. No entanto, ressalta-se que este valor é a média do ganho de calor de todas as amostras de estudo. Considerando isto, destaca-se como exemplo a temperatura superficial máxima da amostra amarela (AME_LB) na fachada oeste com 61,5°C e a temperatura superficial máxima da amostra preta (PR_LB) na fachada leste com 60,9°C, ambas ocorridas no verão. Ou seja, a temperatura superficial em diferentes fachadas depende da cor das amostras.

Outro ponto considerável nesta análise, é a diferença de comportamento do ganho de calor da fachada oeste entre verão e inverno, com 7,4°C de diferença. Também observado na fachada norte, com 8,7°C de diferença. Diferentemente das fachadas leste e sul, com diferença de 0,4 e 2,8°C, respectivamente.

Tabela 9. Ganho e perda de calor na temperatura superficial das fachadas

Fachada Período	Leste		Oeste		Norte		Sul	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
6 – 8h	+ 31,4	+ 28,6	+ 6,4	+ 6,9	+ 6,4	+ 6,9	+ 14	+ 5,7
8 – 10h	+ 4,3	+ 7,4	+ 8,9	+ 9,2	+ 11	+ 17	+ 5,2	+ 9,1
10 – 12h	- 12,1	- 7	+ 4	+ 8,1	+ 4,3	+ 11,8	- 1,2	+ 4,7
12 – 14h	- 1,8	- 7,4	+ 19,5	+ 10,6	+ 11	+ 5,7	+ 4,1	+ 0,9
14 – 16h	- 3,5	- 4	+ 10,8	+ 7,5	- 3,8	- 8	- 2,4	- 2,6
16 – 18h	- 4,4	- 8	- 18,2	- 27,9	- 13	- 22,2	- 6	- 7,7
18 – 20h	- 5,6	- 2,9	- 22,3	- 5,3	- 8,2	- 4,2	- 5,9	- 3,1
20 – 22h	- 3,7	- 2,5	- 4,1	- 2,7	- 3,4	- 3,2	- 3,6	- 3
22 – 24h	- 2,4	- 2	- 1,9	- 1,5	- 2	- 2,3	- 1,9	- 2,1
24 – 2h	- 0,7	- 0,3	- 0,8	- 0,5	- 0,9	- 0,2	- 1	- 0,1
2 – 4h	- 0,6	- 1,2	- 0,3	- 1,4	- 0,5	- 0,8	- 0,6	- 1,2
Temp. média inicial	17	6,9	16,6	7,5	16,9	7,1	17,3	7,1
Ganho de calor total	35,7	36,1	49,6	42,2	32,7	41,4	23,2	20,4
Perda de calor total	34,7	35,3	47,6	39,3	31,8	40,8	22,6	19,7
Temp. média final	18	7,7	18,6	10,5	17,8	7,7	18	7,7

Ao observar a temperatura superficial mínima e máxima de cada fachada a cada 2 horas (**Tabela 10**), e a sua diferença em relação à temperatura do ar média na **Figura 25**, representando os períodos de verão (a; c) e inverno (b; d), têm-se as considerações a seguir.

No período diário, entre às 6h e 18h, no verão (**Figura 25 a**), as únicas temperaturas superficiais mínimas que estiveram abaixo da temperatura do ar ocorreram nas fachadas oeste e norte, às 8h, e na fachada sul às 18h.

As maiores diferenças encontradas entre temperatura superficial mínima e temperatura do ar são: 11,6°C (leste, 8h), 12,2°C (oeste, 14h), 12,4°C (leste, 10h) e 20,6°C (oeste, 16h).

Na fachada norte, a maior diferença observada entre temperatura superficial mínima e temperatura do ar é de 8,7°C, e na fachada sul 4,3°C, ambas às 14h.

Já na **Figura 25 b**, notou-se o comportamento divergente da fachada norte entre verão e inverno, havendo diferenças maiores entre temperatura superficial mínima e temperatura do ar nesta fachada entre às 10h (6,2°C) até 16h (12,4°C).

Constatou-se também, que às 8h a diferença da fachada sul é bem maior no inverno (11,3°C) que no verão (3,5°C).

A maior diferença de temperatura superficial mínima e temperatura do ar no inverno ocorreu às 16h na fachada oeste, na ordem de 17,2°C.

Agora, observando a temperatura superficial máxima, e a diferença em relação a temperatura do ar, no verão (**Figura 25 c**), a fachada oeste às 16h apresenta a maior

diferença (43,1°C). Em outras palavras, pode-se afirmar que com a temperatura do ar à 33°C, a temperatura superficial máxima da fachada oeste pode estar de 53,6 a 76,1°C (**Tabela 10**), dependendo do seu revestimento.

Além da fachada oeste, às 16h, as maiores diferenças encontradas entre temperatura superficial máxima e temperatura do ar no verão são: 35,5°C (leste, 8h), 32,2°C (leste, 10h), 29,6°C (oeste, 14h), e 23,3°C (oeste, 18h).

Assim como notado na temperatura superficial mínima da fachada norte, observando a máxima, esta é a fachada que mais se comporta diferentemente entre verão e inverno. No inverno, na **Figura 25 d**, constata-se diferenças maiores entre às 10h (16,2°C) até às 16h (24,6°C), com a maior diferença, de 31,8°C, às 14h.

Observou-se também, que às 8h no inverno, a fachada sul quase não apresenta diferença entre temperatura superficial máxima e temperatura do ar, enquanto no verão essa diferença é de 10,7.

Figura 25. Diferença entre temperatura do ar e superficial máxima e mínima

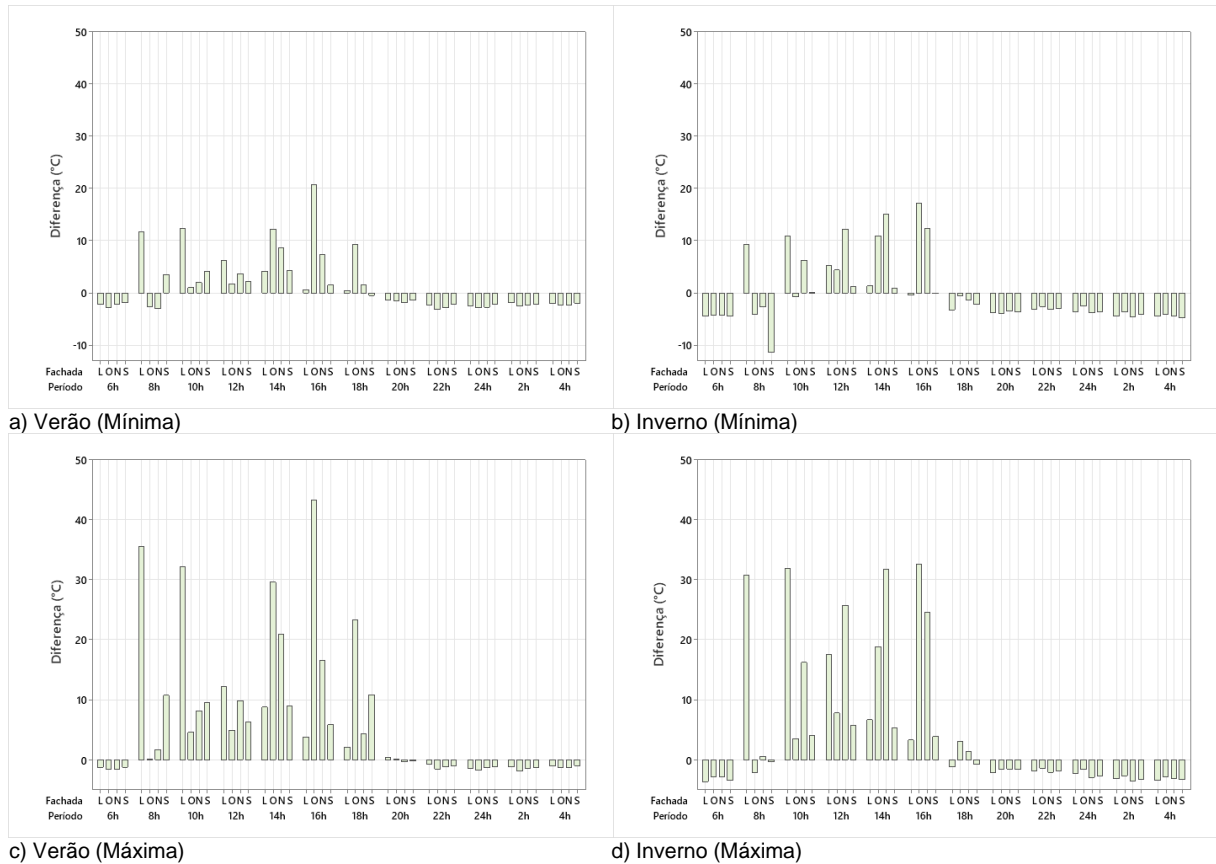


Tabela 10. Temperatura superficial máxima e mínima das fachadas a cada 2h

Horário Temp. ar média (°C) Verão / Inverno	Temp. Superficial (°C)	Leste		Oeste		Norte		Sul	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
6h 18,8 / 11	Máxima	17,6	7,3	17,3	8,1	17,22	8,1	17,6	7,5
	Mínima	16,6	6,5	16,1	6,7	17,7	6,7	17	6,5
8h 23,9 / 15,2	Máxima	59,4	45,9	24	13,1	25,57	15,8	34,6	14,9
	Mínima	35,5	24,4	21,3	11,1	20,9	12,5	27,4	3,9
10h 28,8 / 20	Máxima	60,9	51,8	33,3	23,5	36,9	36,2	38,3	24
	Mínima	41,1	30,9	29,8	19,3	30,7	26,2	32,9	20,1
12h 30,9 / 23,3	Máxima	43	40,9	35,8	31,1	40,7	49	37,2	29
	Mínima	37,1	28,6	32,6	27,7	34,5	35,5	33,1	24,6
14h 32,9 / 24,5	Máxima	41,6	31,1	62,4	43,3	53,7	56,2	41,8	29,7
	Mínima	37	25,8	45	35,3	41,5	39,5	37,1	25,4
16h 33,0 / 22,8	Máxima	36,8	26,1	76,1	55,3	49,5	47,4	38,8	26,7
	Mínima	33,6	22,4	53,6	40	40,2	35,2	34,5	22,7
18h 29,6 / 18,5	Máxima	31,7	17,3	52,9	21,6	33,9	19,9	40,4	17,7
	Mínima	30	15,2	38,8	18	31,2	17,1	29,1	16,3
20h 25,6 / 16,4	Máxima	26	14,3	25,7	14,9	25,3	14,9	25,4	14,8
	Mínima	24,3	12,7	24,1	12,5	23,8	13	24,2	12,8
22h 22,9 / 13,5	Máxima	22,2	11,7	21,4	12,1	21,8	11,4	21,9	11,7
	Mínima	20,6	10,3	19,8	10,9	20,2	10,3	20,8	10,6
24h 21,1 / 12	Máxima	19,7	9,7	19,4	10,4	19,8	9,1	19,9	9,3
	Mínima	18,6	8,5	18,3	9,5	18,4	8,2	19	8,5
2h 20,2 / 12,6	Máxima	19	9,4	18,3	9,9	18,7	9	18,9	9,3
	Mínima	18,3	8,1	17,6	8,9	17,8	8	18	8,5
4h 19,5 / 11,6	Máxima	18,5	8,2	18,2	8,8	18,1	8,5	18,5	8,3
	Mínima	17,5	7,1	17,1	7,5	17,1	7,2	17,5	6,8

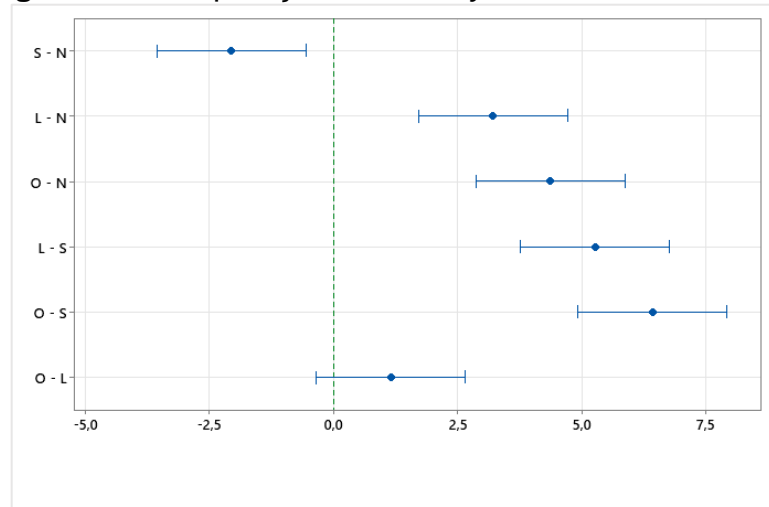
No período noturno há ocorrência de menores diferenças entre temperatura superficial e temperatura do ar. Por não estar sob influência de radiação solar a refletância dos revestimentos não faz impacto, gerando temperaturas superficiais próximas entre si, em todas as fachadas.

Após as análises descritivas de ganho e perda de calor na temperatura superficial média das fachadas, e a diferença entre temperatura do ar e temperatura superficial máxima e mínima, foram feitas análises de *Tukey*, considerando a temperatura superficial dos revestimentos nas fachadas, para o verão e para o inverno. Seguem as constatações na **Figura 26**.

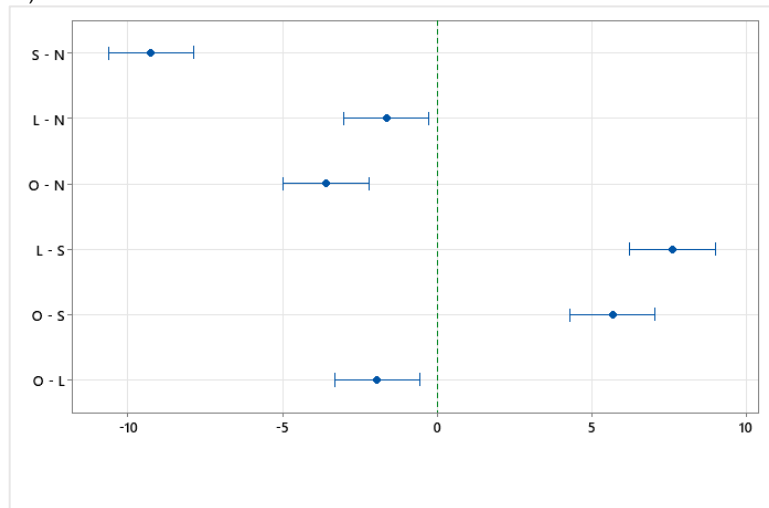
Na análise do verão (**Figura 26 a**), tem-se a porcentagem de semelhança médias que uma fachada possui em relação as demais. Sendo, 38,9% para oeste, 37,7% para leste, 34,5% para a norte e 32,4% para sul, conforme **Tabela 11**. Com isso, há similaridade entre as fachadas oeste e leste, que foram agrupadas em "A".

Já na análise do inverno (**Figura 26 b**), as semelhanças são: 25,3% para oeste, 27,2% para leste, 28,9% para a norte e 19,6% para sul, conforme **Tabela 11**, mostrando que não há similaridade entre as fachadas, e que a sul é a mais discrepante.

Figura 26. Comparações de *Tukey* no verão e no inverno



a) Verão



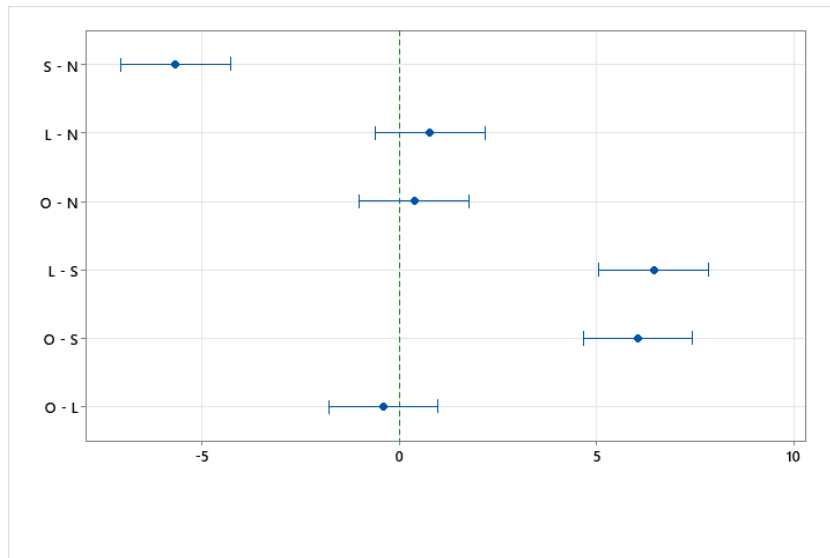
b) Inverno

Tabela 11. Informações de agrupamento do método de *Tukey* e 95% de confiança, no verão e no inverno

Verão				Inverno			
Fator	N	Média	Agrupamento	Fator	N	Média	Agrupamento
Oeste	18	38,9	A	Oeste	18	28,9	A
Leste	18	37,7	A	Leste	18	27,3	B
Norte	18	34,5	B	Norte	18	25,3	C
Sul	18	32,4	C	Sul	18	19,7	D

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

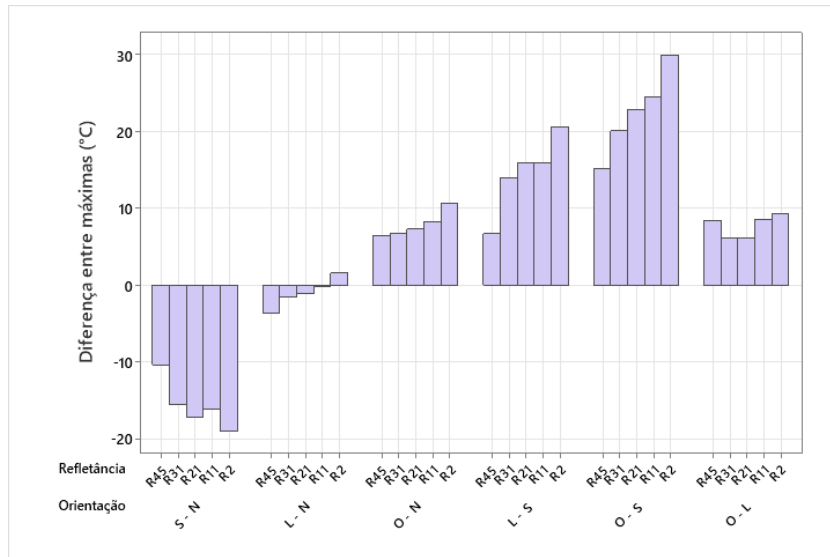
Na **Figura 27**, agrupando os dados de verão e inverno, conclui-se que em média, as fachadas leste, oeste e norte podem ser consideradas em média 32,1% similares, enquanto a fachada sul permanece separada, com similaridade de 23%, conforme **Tabela 12**.

Figura 27. Comparações de *Tukey***Tabela 12.** Informações de agrupamento do método de *Tukey* e 95% de confiança

Fator	N	Média	Agrupamento
Oeste	18	32,5	A
Leste	18	32,1	A
Norte	18	31,7	A
Sul	18	26	B

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

A partir das comparações entre orientações solares dadas na análise, desenvolveu-se a diferença de temperatura superficial máxima entre verão e inverno dos grupos R45, R31, R21, R11 e R02 (**Figura 28**) e confirma-se a discrepância da fachada sul. Em todos os casos de comparação com a fachada sul (S – N; L – S; O – S) as diferenças são maiores. Também se nota que a fachada leste se aproxima mais da fachada norte que da fachada oeste. Destaca-se, também, as menores diferenças no grupo R45, e maiores diferenças no grupo R2.

Figura 28. Diferença de temperatura superficial máxima entre verão e inverno

Ainda buscando compreender o comportamento das fachadas e variáveis que podem causar influência nos resultados de temperatura superficial, na **Tabela 13** apresentam-se os dados de altura solar, azimute solar e azimute relativo (ângulo do azimute em relação a normal de cada fachada). Verificou-se no período das 8 às 16h que a altura solar do inverno é menor. Ou seja, no inverno o sol permanece mais baixo. Os azimutes, no inverno, também são mais próximos a normal da fachada ao longo de todo o dia (entre 6 e 18h). Sendo assim, no inverno o sol permanece com menores inclinações.

Tabela 13. Altura solar e azimute solar dos dias de experimento

Horário	Altura solar (°)		Azimute solar (°)		Azimute relativo (°)							
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão				Inverno			
					Leste	Norte	Oeste	Sul	Leste	Norte	Oeste	Sul
6:00	0,8	22,2	99,8	82,5	9,8	99,8	170,2	80,2	7,5	82,5	172,5	97,5
8:00	26,2	4,8	88,6	71,6	1,4	88,6	178,6	91,4	18,4	71,6	161,6	108,4
10:00	53,5	29,7	72,9	56	17,1	72,9	162,9	107,1	34	56	146	124
12:00	75	48,4	19,8	27	70,2	19,8	109,8	160,2	63	27	117	153
14:00	62,2	50,7	296,7	341,7	153,3	63,3	26,7	116,7	108,3	18,3	71,7	161,7
16:00	35,6	34,4	275,9	308,5	174,1	84,1	5,9	95,9	141,5	51,5	38,7	128,5
18:00	7,9	10,3	264,1	290,9	174,1	95,9	174,5	84,1	159,1	69,1	20,9	110,9

Para aprofundar este estudo de fachadas, apresenta-se na figura 29 a análise dos principais componentes para cada orientação solar, considerando as variáveis: temperatura superficial de cada amostra (medida a cada 2 horas), altura solar e

azimute solar relativo. Esta análise foi feita com período completo, abrangendo verão e inverno.

Ressalta-se que, as variáveis que demonstram grande associação entre si e positiva (diretamente proporcional) apresentam vetores com direção e sentido semelhantes, enquanto vetores com direções opostas representam forte associação negativa (inversamente proporcional). Além disso vetores que constituem ângulo de 90° correspondem a variáveis não correlacionadas (ALCHAPAR; PEZZUTO; CORREA, 2018; SALGADO 2006).

A **Tabela 14** apresenta os resultados de um modelo de duas componentes principais a partir da matriz de correlação. O critério de *Kaiser* relata que os autovalores superiores a um seriam os autovalores estatisticamente significativos (WILKS, 2006; FLECK; BOURDEL, 1998). Entretanto, Wills (2007) relata que o critério de *Kaiser* é muito restrito, pois descarta muitos componentes principais. Neste sentido, Jolliffe (1972; 2002) argumenta que autovalor (variância) superior a 0,7 fornece um limite aproximadamente correto. Adotando os critérios de Jolliffe (1972; 2002), as fachadas sul, leste e oeste demonstraram boa representatividade com 93,8%, 86,8% e 88,6% da variância total, respectivamente (**Tabela 14**). Ao verificar a contribuição das variáveis na formação dos componentes (**Tabela 15** e **Figura 29**), tem-se que os valores em destaque apresentam significância próxima de 0,7.

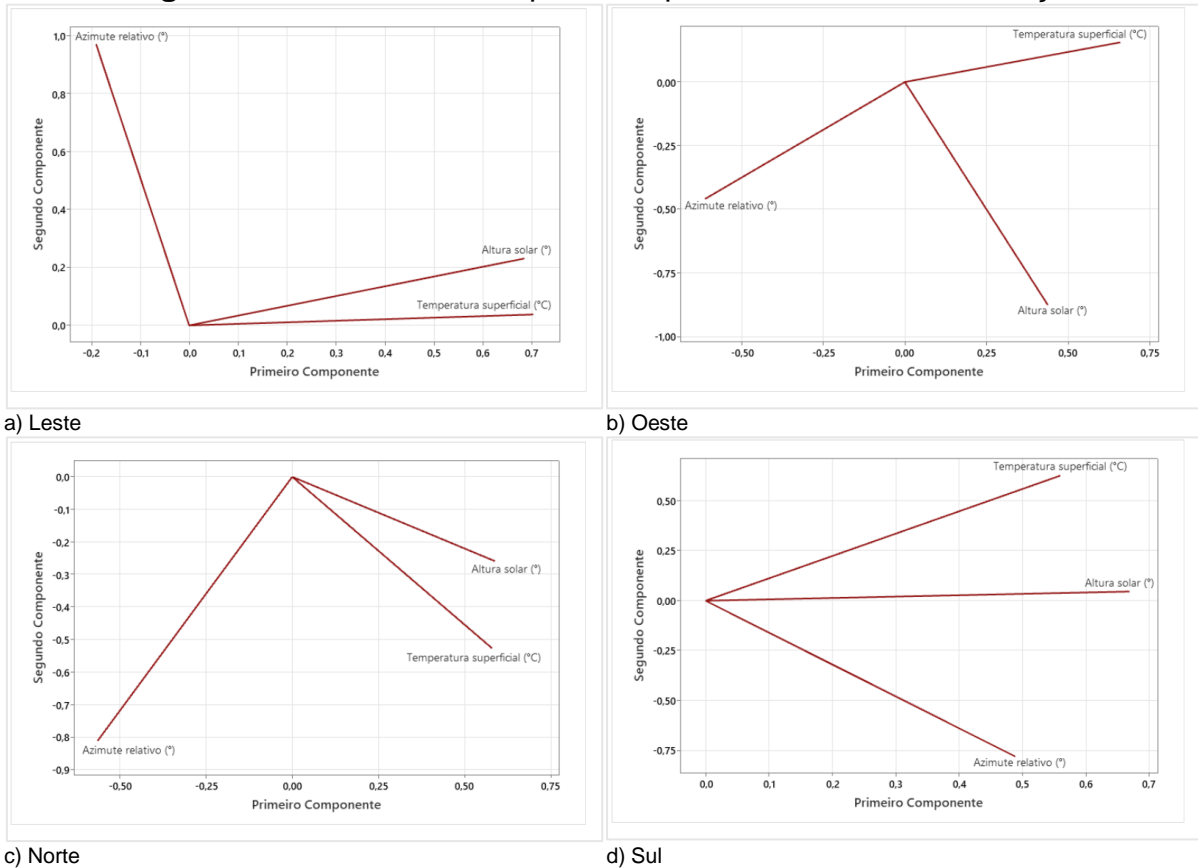
Considerando a variável dependente como a temperatura superficial, ao avaliar o primeiro componente (PC1), tem-se que a altura solar foi a variável de maior significância para as fachadas sul e leste. Neste sentido, quanto maior a altura solar, maior a temperatura superficial. Para a fachada leste, o azimute relativo está inversamente relacionado com a temperatura superficial e altura solar. Ou seja, menor azimute relativo, maior temperatura superficial e maior altura solar. Em contrapartida, na fachada oeste o azimute solar foi o componente de maior significância e está inversamente relacionado com a temperatura superficial e a altura solar. O segundo componente principal (PC2) é representado pelo azimute solar nas fachadas sul e leste, e pela altura solar na fachada oeste.

Tabela 14. Resultados dos autovalores e variâncias das variáveis de estudo por Componentes Principais (PC); Fachadas de estudo

Matriz de correlação (TEMP, AZR, AS)			
Fachada Norte (c)			
	PC1	PC2	PC3
Autovalor (Variância)	2,1537	0,4639	0,3823
Variância (%)	0,718	0,155	0,127
Variância acumulada (%)	0,718	0,873	1,000
Fachada Sul (d)			
	PC1	PC2	PC3
Autovalor (Variância)	2,0001	0,8127	0,1872
Variância (%)	0,667	0,271	0,062
Variância acumulada (%)	0,667	0,938	1,000
Fachada Leste (a)			
	PC1	PC2	PC3
Autovalor (Variância)	1,6159	0,9884	0,3956
Variância (%)	0,539	0,329	0,132
Variância acumulada (%)	0,539	0,868	1,000
Fachada Oeste (b)			
	PC1	PC2	PC3
Autovalor (Variância)	1,8295	0,8294	0,3411
Variância (%)	0,610	0,276	0,114
Variância acumulada (%)	0,610	0,886	1,000

Tabela 15. Escores das variáveis de estudo em relação ao primeiro e segundo Componente Principal; Fachadas de estudo

Variáveis		
Fachada Norte (c)		
	CP1	CP2
Azimuth relativo (°)	-0,564	-0,810
Altura solar (°)	0,588	-0,259
Temp. superficial (°C)	0,580	-0,526
Fachada Sul (d)		
	CP1	CP2
Azimuth relativo (°)	0,489	-0,779
Altura solar (°)	0,669	0,046
Temp. superficial (°C)	0,560	0,625
Fachada Leste (a)		
	CP1	CP2
Azimuth relativo (°)	-0,190	0,972
Altura solar (°)	0,685	0,231
Temp. superficial (°C)	0,703	0,038
Fachada Oeste (b)		
	CP1	CP2
Azimuth relativo (°)	-0,611	-0,459
Altura solar (°)	0,438	-0,875
Temp. superficial (°C)	0,659	0,156

Figura 29. Análise de Principais Componentes em cada orientação

A **Tabela 16** mostra os resultados de um modelo de dois componentes principais, com boa representatividade dos dados estudados (86,9% da variância acumulada), considerando conjuntamente os dados das orientações norte, sul, leste e oeste.

Tabela 16. Resultados dos autovalores e variâncias das variáveis de estudo por Componentes Principais (PC); Fachadas de estudo

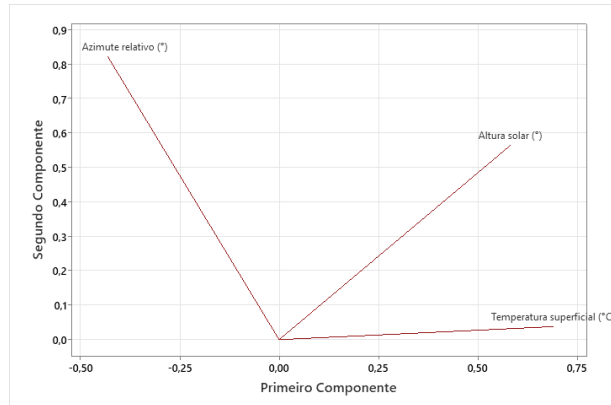
Matriz de correlação (TEMP, AZR, AS)			
	PC1	PC2	PC3
Autovalor (Variância)	1,6708	0,9370	0,3922
Variância (%)	0,557	0,312	0,131
Variância acumulada (%)	0,557	0,869	1,000

Tabela 17. Escores das variáveis de estudo em relação ao primeiro e segundo Componente Principal; Fachadas de estudo

Variáveis		
	CP1	CP2
Azimute relativo (°)	-0,431	0,824
Altura solar (°)	0,582	0,565
Temp. superficial (°C)	0,689	0,038

Na **Tabela 17** e na **Figura 30** ressalta-se a não influência do azimute relativo na temperatura superficial. Ou seja, o modelo nos diz que as temperaturas superficiais das superfícies estão apenas sob influência da variável altura solar, no geral.

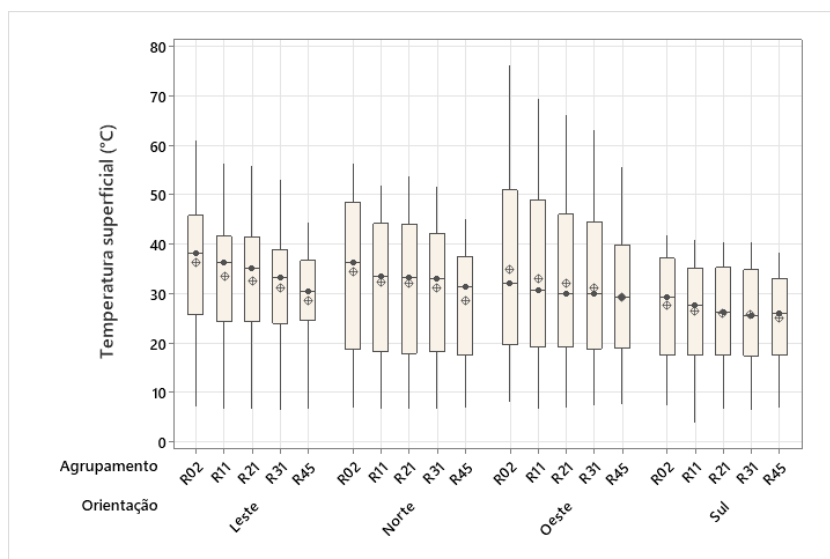
Figura 30. Análise de Principais Componentes



5.5 Análise dos grupos nas fachadas

Após observar o desempenho de 18 revestimentos, e agrupá-los por similaridade de 4 conjuntos (R45, R31, R21 e R02), além de compreender a diferença de comportamento das 4 fachadas (norte, sul, leste e oeste), apresenta-se a **Figura 31**, a seguir, para descrever a temperatura superficial dos grupos em cada fachada.

Figura 31. Boxplot de temperatura superficial de R45, R31, R21, R11 e R02



Este *boxplot* contempla a temperatura superficial dos 18 tipos de revestimentos, medida a cada 2 horas, 2 dias do ano (dias representativos de verão e de inverno), referente ao período diurno, entre às 6 e 18h, uma vez que se avalia aqui, novamente, a refletância dos materiais (propriedade óptica do material que é capaz de influenciar o aquecimento superficial quando exposto a radiação solar).

Notou-se comportamento relativamente similar entre **R11 e R21** em todas as fachadas, exceto na fachada oeste, na qual R11 registrou a máxima de 69,3°C, e média de 33°C, enquanto em R21 tem-se de máxima 66,2°C, e média 32°C. Ou seja, aumentar o albedo de 0,11 para 0,21 em fachada oeste, pode reduzir na temperatura superficial máxima cerca de 3,1°C, e reduzir na temperatura do ar máxima na ordem de 1,5°C (**Figura 20**; SANTAMOURIS et al., 2017).

Tabela 18. Temperatura superficial média e máxima

Temp. superficial (°C) Grupos	Leste		Norte		Oeste		Sul	
	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.
R02	36,2	60,9	34,5	56,2	34,9	76,1	27,6	41,8
R11	33,5	56,3	32,2	52	33	69,3	26,3	40,8
R21	32,5	55,8	32	53,7	32	66,2	25,9	40,3
R31	31,2	52,9	31	51,7	31,2	63,1	25,7	40,4
R45	28,6	44,5	28,5	45	29,2	55,5	25	38,3

Observando o comportamento de **R02 para R11**, comprovou-se que o aumento de aproximadamente 0,1 no albedo de materiais cerâmicos em fachadas urbanas, reduz a temperatura superficial em todas as orientações de fachada (norte, sul, leste e oeste). Na fachada leste, gerou a diferença de 4,6°C na temperatura superficial máxima, sendo R02 = 60,9°C e R11 = 56,3°C (**Tabela 18**). Na fachada norte, a diferença foi de 4,2°C. Na fachada oeste, obteve a maior diferença, na ordem de 6,8°C. E na fachada sul, a menor, com 1°C. No geral, considerando todas as fachadas, aumentar o albedo de 0,02 para 0,11 pode reduzir a temperatura do ar máxima na ordem de 0,7°C (**Figura 20**; SANTAMOURIS et al., 2017).

Já o aumento de 1,4 no albedo, observando o comportamento de **R31 para R45**, tem-se de diferença na temperatura superficial máxima: 8,4°C (leste), 4,2°C (norte), 7,6°C (oeste) e 2,1°C (sul). Considerando todas as fachadas, aumentar o albedo de 0,31 para 0,45 reduz na temperatura do ar máxima na ordem de 2,1°C (**Figura 20**; SANTAMOURIS et al., 2017).

Observando de **R21 para R31**, não existe diferença significativa na temperatura superficial máxima na fachada sul. Entretanto nas demais tem-se: 2,9°C (leste), 2°C

(norte), 3,1°C (oeste). Pensando em todas as fachadas, o aumento do albedo de 0,21 para 0,31 pode reduzir na temperatura do ar máxima na ordem de 1,6°C (**Figura 20**; SANTAMOURIS et al., 2017).

Tudo posto, apresenta-se a **Tabela 19**, e destaca-se que o aumento do albedo de 0,31 para 0,45 demonstrou forte impacto na redução da temperatura superficial máxima, com média de 5,6°C, bem como na temperatura do ar máxima, com 2,1°C.

Tabela 19. Aumento de albedo e redução das temperaturas

Aumento de albedo	Redução da temperatura superficial máxima (°C)				Redução na temperatura do ar máxima (°C) *
	Leste	Norte	Oeste	Sul	
0,02 – 0,11	- 4,6	- 4,2	- 6,8	- 1	- 0,7
0,11 – 0,21	- 0,5	+ 1,7	- 3,1	- 0,5	- 2,1
0,21 – 0,31	- 2,9	- 2	- 3,1	+ 0,1	- 1,6
0,31 – 0,45	- 8,4	- 4,2	- 7,6	- 2,1	- 2,1

*Fonte: Adaptado SANTAMOURIS et al. (2017).

6. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa observou-se a temperatura superficial de revestimentos cerâmicos com variadas características, expostos sob radiação solar no período de verão e de inverno, buscando avaliar o impacto das propriedades ópticas no equilíbrio térmico de fachadas urbanas. Os resultados apontam as seguintes considerações:

1. Temperaturas máximas ocorrem, majoritariamente, nas fachadas oeste e norte, e temperaturas mínimas ocorrem, majoritariamente, nas fachadas oeste e leste;
2. Amplitude entre temperaturas máximas de revestimentos cerâmicos pode alcançar até 50,2°C;
3. Amplitude entre temperaturas máximas e temperaturas mínimas de revestimentos cerâmicos pode alcançar até 72,2°C;
4. Há forte correlação inversa entre temperatura máxima superficial e refletância solar;
5. Revestimentos brancos podem apresentar refletância de 50,5% e atingir temperatura máxima de até 55,5°C, enquanto revestimentos pretos podem apresentar refletância de 0,3% e atingir temperatura máxima de até 76,1°C;
6. Revestimentos de cores claras apresentam curvas espectrais altas na região visível, enquanto revestimentos de cores escuras apresentam refletâncias apenas na região do infravermelho;
7. A fachada leste apresenta rápido aquecimento e rápido resfriamento. Os seus principais ganhos e perdas de calor ocorre ente 6 e 12h. Pode adquirir até 36,1°C de calor durante um dia;
8. A fachada oeste é a única que apresenta aquecimento até 16h e significativo resfriamento até 20h. Pode adquirir até 49,6°C de calor durante um dia. Com temperatura do ar à 33°C, a temperatura superficial máxima da fachada

oeste pode estar entre 53,6 e 76,1°C. Esta é a fachada com maior aquecimento;

9. A fachada norte é a que mais aquece entre às 8 e 12h, pode adquirir até 41,4°C de calor durante um dia. Apresenta a maior desigualdade de comportamento entre verão e inverno;
10. A fachada sul aquece menos que as demais, podendo adquirir até 23,2°C de calor durante um dia;
11. Quanto maior a altura solar, maior a temperatura superficial nas fachadas;
12. Na fachada oeste a altura solar é uma variável fraca de influência na temperatura superficial;
13. Quanto menor o azimute relativo, maior a temperatura superficial nas fachadas oeste e norte;
14. Quanto maior o azimute relativo, maior a temperatura superficial na fachada sul;
15. Na fachada leste o azimute é uma variável fraca de influência na temperatura superficial;
16. O aumento de aproximadamente 0,1 no albedo urbano, reduz a temperatura do ar e a temperatura superficial em praticamente todas as fachadas urbanas;
17. Aumentando o albedo, a redução da temperatura superficial máxima é mais significativa na fachada oeste, e menos significativa na fachada sul;
18. Com o aumento do albedo de 0,31 para 0,45 é possível reduzir a temperatura superficial máxima em 8,4°C na fachada leste, 4,2°C na fachada norte, 7,6°C na fachada oeste, 2,1°C na fachada sul, e 2,1°C também na temperatura do ar máxima;

Por fim, ressalta-se que o resultado do calor superficial das fachadas depende das refletâncias solares dos revestimentos utilizados. Portanto, a aplicação de envoltórias urbanas adequadas ao microclima pode ser uma estratégia de mitigação do superaquecimento causado pelas mudanças climáticas globais nas cidades, podendo reduzir até 2,3°C na temperatura do ar ou até 9,6°C na temperatura superficial.

6.1 Considerações para trabalhos futuros

Para aprofundar a compreensão do desempenho térmico de fachadas urbanas e o impacto direto no microclima, faz-se necessário seguir este estudo com a realização de simulações computacionais de modelos. Assim será possível obter os dados de aumento ou redução na temperatura do ar local conforme cenários configurados. Estes cenários podem considerar variáveis como densidade, vegetação, nebulosidade e vento, além das orientações solares e das propriedades dos revestimentos cerâmicos conhecidos por meio do presente trabalho. A relevância destas simulações está, justamente, em considerar o entorno urbano e as orientações solar. Pode ser possível verificar quanto inter-reflexões da radiação solar entre fachadas pode comprometer o potencial óptico das superfícies, já que o ângulo dos raios solares tem importância na refletância solar das superfícies em cânions urbanos, alterando o resultado da temperatura do ar.

Obtendo, cada vez mais, informações técnicas sobre desempenho termo-óptico de materiais de superfícies urbanas é possível formular normas e padrões de eficiência energética para envelopes urbanos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

Accuweather. Disponível em: <<https://www.accuweather.com/>>. Acesso em: agosto/22.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR15220-1: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro. Disponível em: <www.abnt.org.br>.

AKBARI, H.; KONOPACKI, S. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. **Energy Policy**, v. 33, n. 6, p. 721–756, abr. 2005.

AKBARI, H.; MATTHEWS, H. D.; SETO, D. The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. **Environmental Research Letters**. 2012.

ALCHAPAR, N. et al. Evaluación del modelo Urban Weather Generator en clima árido y tropical: aplicaciones en Mendoza, Argentina y Campinas, Brasil. **IBPSA: International Building Performance Simulation Association**, p. 144–160, 2019.

ALCHAPAR, N. et al. Energy-efficient urban buildings. Thermo-physical characteristics of traditional and recycled roofing technologies. **Revista Ingeniería de Construcción**, v. 35, n. 1, p. 73–83, 2020.

ALCHAPAR, N. L. et al. The impact of different cooling strategies on urban air temperatures: the cases of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, n. 1–2, p. 35–50, 2017.

ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N. Aging of roof coatings. Solar reflectance stability according to their morphological characteristics. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 297–305, 2016.

ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N. Optothermal properties of façade coatings. Effects of environmental exposure over solar reflective index. **Journal of Building Engineering**, v. 32, n. May, p. 101536, 2020.

ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N.; CANTÓN, M. A. Índice De Reflectancia Solar De Revestimientos Verticales: Potencial Para La Mitigación De La Isla De Calor Urbana. **Ambiente Construido**, v. 12, n. 3, p. 107–123, 2012.

ALCHAPAR, N. L.; CORREA, E. N.; CANTÓN, M. A. Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. **Energy and Buildings**, v. 69, p. 22–32, 2014.

ALCHAPAR, N. L.; PEZZUTO, C. C.; CORREA, E. N. Parámetros urbanos morfo-materiales y su correlación con las temperaturas de aire en verano. **Ambiente Construido**, v. 18, n. 4, p. 199–213, 2018.

ANSI/ ASHRAE/ USGB/ IES, Estándar para el diseño de edificios verdes de alto rendimiento, Standar 189. 1, 2009, p. 8400. [14] E. Astm,

ANSI/ ASHRAE/ IES Standard, Energy Standard for Buildings except Low - Rise Residential Buildings, Standard 90. 1, 2010, p. 2010.

AMBROSINI, D. et al. Evaluating mitigation effects of urban heat islands in a historical small center with the ENVI-Met® climate model. **Sustainability** (Switzerland), v. 6, n. 10, p. 7013–7029, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **G173**: Standard tables for reference solar spectral irradiances - direct normal and hemispherical on 37° tile surface. West Conshohocken, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E1980-11: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low Sloped Opaque Surfaces, vol. 20, pp. 1 –2, <https://doi.org/10.1520/E1980-11>. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E903: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. West Conshohocken, 2012.

ARNFIELD, A. J. An approach to the estimation of the surface radiative properties and radiation budgets of cities. **Physical Geography**, v. 3, n. 2, p. 97–122, 1982.

BARRY, D.; HOYNE, S. Sustainable measurement indicators to assess impacts of climate change: Implications for the New Green Deal Era. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 22, p. 100259, 2021.

BRAINARD, J. What's coming up in 2021. Sciencemag.org. 2021.

BRETZ, S. E.; AKBARI, H. Long-term performance of high-albedo roof coatings. **Energy and Buildings**, v. 25, n. 2, p. 159–167, 1997.

CAMPOSTRINI, P. UHI - Urban Heat Island and its Mitigation in the Veneto Region. 2013.

CASTELLO, A. J. P.; CARVALHO, M. F. H.; PEZZUTO, C. C. Thermal Performance of Ceramic Claddings Used on Vertical and Horizontal Urban Surfaces. PLEA SANTIAGO 22. Chile. 2022

Climate-Data.org. Disponível em: <<https://en.climate-data.org/>>. Acesso em abril/22.

DORNELLES, K. A. Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas acrílica e PVA. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, p. 160p, 2008.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. Métodos alternativos para identificar a absorvância solar de superfícies opacas. **Ambiente Construído**, n. 16, p. 109–127, 2007.

DORNELLES, K.; CARAM, R.; SICHIERI, E. Natural weathering of cool coatings and its effect on solar reflectance of roof surfaces. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1587–1592, 2015.

DOULOS, L.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. **Solar Energy**, v. 77, n. 2, p. 231–249, 2004.

EMMANUEL, R., ROSENBLUND, H., JOHANSSON, E. Urban shading – A design option for the tropics. A study in Colombo, Sri Lanka. *Int. J. Climatol.* 2007.

ERELL, E. et al. Effect of high-albedo materials on pedestrian heat stress in urban street canyons. **Urban Climate**, v. 10, n. P2, p. 367–386, 2014.

FABIANI, C. et al. Adaptive measures for mitigating urban heat islands: The potential of thermochromic materials to control roofing energy balance. **Applied Energy**, v. 247, n. April, p. 155–170, 2019.

FLECK, M. P. A.; BOURDEL, M. C. Método de simulação e escolha de fatores na análise dos principais componentes. **Revista da Saúde Pública**, 32 (3): 267-72, 1998.

FROTA, A. BARROS.; SCHIFFER, S. RAMOS. Manual de Conforto Térmico. Studio Nobel, 1999.

GARSHASBI, S. et al. Urban mitigation and building adaptation to minimize the future cooling energy needs. **Solar Energy**, v. 204, n. March, p. 708–719, 2020.

GEORGAKIS, C.; ZORAS, S.; SANTAMOURIS, M. Studying the effect of “cool” coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique. **Sustainable Cities and Society**, v. 13, p. 20–31, 2014.

GEORGESCU, M.; MAHALOW, A.; MOUSTAOU, M. Seasonal hydroclimatic impacts of Sun Corridor expansion. 2012.

GEORGESCU, M. et al. Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 111, n. 8, p. 2909–2914, 25 fev. 2014.

GOBER, P. et al. Using watered landscapes to manipulate urban heat island effects: how much water will it take to cool phoenix? *J. Am. Plan. Assoc.* 76 (1), 109–121. <http://dx.doi.org/10.1080/01944360903433113>. 2009.

Google Earth. 2022. Disponível em:

<<https://earth.google.com/web/>>. Acesso em: abril/22.

GRBES. Group Building Environmental Research. Bioclimatic studies on the application of mitigation technologies in the built environment. University of Athens, 2016.

HUANG, J.-M. et al. The effects of Urban Heat Island Mitigation Strategies on the Outdoor Thermal Environment in Central Tokyo - A Numerical Simulation. The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 2009.

HUYNH, C.; ECKERT, R. Reducing Heat and Improving Thermal Comfort through Urban Design - A Case Study in Ho Chi Minh City. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 3, 2012.

IBGE. Panorama Amparo, São Paulo. Disponível em:
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/amparo/panorama>>. Acesso em: abril/22.

JOLLIFFE, I. T. Discarding Variables in a Principal Component Analysis. I: Artificial Data. **Journal of the Royal Statistical Society**. Series C (Applied Statistics), Vol. 21, No. 2(1972), pp. 160-173.

MARTINS, T. A. L. et al. Impact of Urban Cool Island measures on outdoor climate and pedestrian comfort: Simulations for a new district of Toulouse, France. **Sustainable Cities and Society**, 2016.

MONTEIRO, V. S. Zonas climáticas locais e a relação com a morfologia urbana. Estudo de caso: Campinas / SP. p. 164, 2018.

KALOUSTIAN, N.; BECHTEL, B. Local Climatic Zoning and Urban Heat Island in Beirut. **Procedia Engineering**, 2016.

KINOSHITA, S.; YOSHIDA, A. Investigating performance prediction and optimization of spectral solar reflectance of cool painted layers. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 214–220, 15 fev. 2016.

KOWALSKI, L. F. Influência do Albedo de Pavimentos no Campo Térmico de Câmbios Urbanos: Estudo de Modelo em Escala Reduzida. n. June 2020, 2019.

KOWALSKI, L. F.; MASIERO, É. Envelhecimento de pavimentos de concreto pigmentado e consequências sobre o albedo. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 10, n. 1, p. 126, 30 dez. 2021.

KYRIAKODIS G.; MASTRAPOSTOLI, E.; SANTAMOURIS, M. Experimental and numerical assessment of bioclimatic rehabilitation of a large urban area in Western Athens using reflective and photocatalytic materials. In: Proc. 4th International Conference on Countermeasures to UHI National University of Singapore. 2016.

KYRIAKODIS, G.; SANTAMOURIS, M. Using reflective pavements to mitigate urban heat island in warm climates - Results from a large-scale urban mitigation project. **Urban Climate**, v. 24, p. 326–339, 2018.

LECHNER, N. Heating, cooling, lighting. Sustainable Design Methods for Architects. Library of Congress Cataloging. 2015

LEVINSON, R. et al. Effects of soiling and cleaning on the reflectance and solar heat gain of a light-colored roofing membrane. **Atmospheric Environment**, v. 39, n. 40, p. 7807–7824, dez. 2005.

LEVINSON, R. Using solar availability factors to adjust cool-wall energy savings for shading. **Solar Energy**, 2019.

LOBACCARO, G.; FRONTINI, F. Solar energy in urban environment: How urban densification affects existing buildings. **Energy Procedia**, 2014.

LYNN, B. H. et al. A modification to the NOAA LSM to simulate heat mitigation strategies in the New York City metropolitan area. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 48, n. 2, p. 199–216, 2009.

MALEKI, A.; MAHDAVI, A. Evaluation of Urban Heat Islands Mitigation Strategies Using 3dimensional Urban Micro-climate Model Envi-Met. **Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)**. Disponível em: <www.SID.ir>.

MANNI, M. et al. Development and validation of a Monte Carlo-based numerical model for solar analyses in urban canyon configurations. **Building and Environment**, v. 170, 1 mar. 2020.

MASIERO, E.; SOUZA, L. Clima Urbano E Estabelecimentos De Diretrizes Para Cenários De Ocupação Do Solo. **Cadernos Zygmunt Bauman**. 2018.

MIDDEL, A., CHHETRI, N. City of phoenix cool urban spaces project urban forestry and cool roofs: assessment of heat mitigation strategies in phoenix. Report prepared by Center for Integrated Solutions to Climate Challenges at Arizona State University July 2014 in collaboration with Climate Assessment for the Southwest at University of Arizona.

MUNIZ-GÄAL, L. P. Impacto Da Geometria Urbana E da Legislação de Uso e Ocupação Do Solo no Microclima de Cânions Urbanos. 2017.

MUNIZ-GÄAL, L. P. et al. Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 503–518, 2018.

Nações Unidas Brasil. Mudança climática é uma 'emergência global', aponta pesquisa sobre clima. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/109616-mudanca-climatica-e-uma-emergencia-global-aponta-pesquisa-sobre-clima>>. Acesso em: maio/21.

NAOUMOVA, N., LAY, M. C. D. Policromia Histórica e Identidade Cromática da Paisagem Urbana Resumo. **Eanpgppur**, p. 1–16, 2007.

OKE. Stret Design and Urba Canopy Layer Climate. 1998.

O'MALLEY, C. et al. Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. **Sustainable Cities and Society**, 2015.

PANÁK, O.; DRŽKOVÁ, M.; KAPLANOVÁ, M. Insight into the evaluation of color changes of leuco dye based thermochromic systems as a function of temperature. **Dyes and Pigments**, v. 120, p. 279–287, 2015.

PAPADOPOULOS, A. Aristotle University Thessaloniki. Personal Communication. 2016.

PAOLINI, R. et al. Natural aging of cool walls: Impact on solar reflectance, sensitivity to thermal shocks and building energy needs. **Energy and Buildings**, v. 153, p. 287–296, 2017.

PEREIRA, C. D. et al. Relatório de Avaliação do Espectrômetro Portátil ALTA II. Florianópolis. 2015.

PEREZ, G. et al. Catalogue of Urban Surface Finish Materials: Optimizing Solar Energy Management in Latin American Cities Located in Different Climatic Zones. PLEA SANTIAGO 22. Chile. 2022.

PISELLO, A. L. et al. Combined thermal effect of cool roof and cool façade on a prototype building. **Energy Procedia**. 2015.

PISELLO, A.L. et al. Elaboration of the simulation tools and models of the NZE settlements with integrated the proposed systems and analysis of the simulated results. Report Zero Plus Project. European Commission. 2016.

PISELLO, A. L. et al. Innovative cool roofing membrane with integrated phase change materials: Experimental characterization of morphological, thermal and optic-energy behavior. **Energy and Buildings**, v. 112, p. 40–48, 2016a.

PISELLO, A. L. et al. Innovative cool roofing membrane with integrated phase change materials: Experimental characterization of morphological, thermal and optic-energy behavior. **Energy and Buildings**, v. 112, p. 40–48, 2016b.

PISELLO, A. L. State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities. **Solar Energy**, v. 144, p. 660–680, 2017.

Portal do Governo Brasileiro. Estações. Disponível em:
<<http://clima1.cptec.inpe.br/estacoes/pt>>. Acesso em: abril/22.

REAGAN, J. A.; ACKLAM, D. M. Solar reflectivity of common building materials and its influence on the roof heat gain of typical southwestern U.S.A. residences. **Energy and Buildings**, v. 2, n. 3, p. 237–248, 1979.

REVEL, G. M. et al. Cool products for building envelope - Part I: Development and lab scale testing. **Solar Energy**, v. 105, p. 770–779, 2014.

ROSENFELD, A. H. et al. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. **Energy and Buildings**, 1995.

ROSENFELD, A. et al. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. **Energy and Buildings**, 1998.

SAILOR, D. J. Simulated Urban Climate Response to Modifications in Surface Albedo and Vegetative Cover. **Journal of Applied Meteorology**, v. 34, 1994.

SAILOR, D. J.; KALKSTEIN, L. S.; WONG, E. The potential of urban heat island mitigation to alleviate heat related mortality: methodological overview and preliminary modeling results for Philadelphia. U.S. Environmental Protection Agency, 2002.

SALGADO, D. D. et al. Modelos estatísticos indicadores de comportamentos associados a bem-estar térmico para matrizes pesadas. v. 27, 2007.

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.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. **Solar Energy**, v. 103, p. 682–703, 2014.

SANTAMOURIS, M. et al. Passive and active cooling for the outdoor built environment. **Solar Energy**, v. 154, p. 14–33, 2017.

SANTAMOURIS, M. Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. **Energy and Buildings**, v. 207, 2020.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. **Solar Energy**, v. 85, n. 12, p. 3085–3102, 2011.

SANTOS, E. I.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Influência do ambiente de medição sobre a verificação da absorvância de superfícies opacas utilizando um espectrômetro portátil. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, p. 660–669, 2009.

SAVIO. Mitigating New York City's Heat Island with Urban Forestry, Living roofs and light surfaces. New York City Regional Heat Island Initiative, 2006.

SAVIO, P. Passive and active cooling for the outdoor built environment – Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects. **Solar Energy**, v. 154, p. 14–33, 2017.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: Urban streets and courtyards with trees. **Building and Environment**, v. 39, n. 9, p. 1087–1099, set. 2004.

SKELHORN, C.; LINDLEY, S.; LEVERMORE, G. The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. **Landscape and Urban Planning**, v. 121, p. 129–140, 2014.

SOEIRA, M. R. C. A relação entre o fator de visão do céu e a temperatura do ar em diferentes Zonas Climáticas Locais. p. 116, 2018.

SOUZA, J. A. P.; MENIM, B. F.; KOWALSKI, L. F. Influência do albedo na temperatura de superfície de pavimento asfáltico urbano. **Tecnologia e Ambiente**, v. 26, p. 60, 2020.

SPRINGER, I. T. J. Principal Component Analysis, Second Edition. 2002.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 12, p. 1879–1900, 2012.

SunEarthTools. Ferramentas para designers e consumidores de energia solar. 2022. Disponível em: <<https://www.sunearthtools.com/>>. Acesso em: agosto/22.

SYNNEFA, A. et al. On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 11, p. 2846–2856, 1 nov. 2008.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v. 81, n. 4, p. 488–497, 2007.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v. 80, n. 8, p. 968–981, ago. 2006.

TAHA, H. Meso-urban meteorological and photochemical modeling of heat island mitigation. **Atmospheric Environment**, 2008a.

TAHA, H. Urban Surface Modification as a Potential Ozone Air-quality Improvement Strategy in California: A Mesoscale Modelling Study. **Boundary-Layer Meteorol**, 2008b.

TAHA, H. Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Buildings**, v. 25, n. 2, p. 99–103, 1997.

TERJUNG, W. H.; ZYXW, S.; LOUIE, S.-F. Solar Radiation and Urban Heat Islands. 1973.

TUMINI, I. The Urban Microclimate in Open Space Case Studies in Madrid. **Cuaderno de Investigacion Urbanistica n° 96**, 2014.

VIRK, G. et al. Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 214–228, 1 fev. 2015.

WANG, Y.; BERARDI, U.; AKBARI, H. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. **Energy and Buildings**, 2016.

WILKS, D. S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences Second Edition. International Geophysics Series. 2006.

World Meteorological Organization (WMO). State of the Global Climate 2020. Unpacking the indicators. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>>. Acesso em: maio/21.

YAGHOUBIAN NEDA; KLEISSL JAN. Effect of reflective pavements on building energy use. **Urban Climate**, 2012.

YANG, J.; WANG, Z. H.; KALOUSH, K. E. Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a “silver bullet” for mitigating urban heat island? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 830–843, 2015.

ZHANG, J. et al. Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city. **Applied Energy**, v. 240, p. 513–533, 15 abr. 2019.

ZHOU, Y.; SHEPHERD J. MARSHALL. Atlanta’s urban heat island under extreme heat conditions and potential mitigation strategies. **Nat Hazards**. 2010.

ZHU JIAJIE; JAHN WOLFRAM; REIN GUILLERMO. Computer simulation of sunlight concentration due to façade shape. **Journal of Building Performance Simulation**, 2019.

ZORAS, S. et al. Evaluation of the application of cool materials in urban spaces. **Sustainable Cities and Society**, 2014.