

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUANA PRIMIERI DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE TINTAS À BASE DE ÁGUA
FORMULADAS COM DIÓXIDO DE TITÂNIO EM SUA FASE RUTILO E ANATASE
QUANTO AO CONFORTO TÉRMICO**

FRANCISCO BELTRÃO

2022

LUANA PRIMIERI DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE TINTAS À BASE DE ÁGUA
FORMULADAS COM DIÓXIDO DE TITÂNIO EM SUA FASE RUTILO E ANATASE
QUANTO AO CONFORTO TÉRMICO**

**Thermal performance evaluation of water-based inks formulated with titanium
dioxide in its rutile and anatase phase for thermal comfort**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Prof^(a). Dr^(a). Sheila Regina Oro

Coorientador: Prof. Dr. Douglas da Costa Ferreira

FRANCISCO BELTRÃO

2022



4.0 Internacional

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUANA PRIMIERI DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE TINTAS À BASE DE ÁGUA
FORMULADAS COM DIÓXIDO DE TITÂNIO EM SUA FASE RUTILO E ANATASE
QUANTO AO CONFORTO TÉRMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química,
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 23 de junho de 2022.

Sheila Regina Oro (de acordo com o Currículo Lattes)
Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Douglas da Costa Ferreira
Doutorado em Engenharia Mecânica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cledison Zatta Valdameri
Mestrado em Engenharia Civil
Universidade Paranaense

“A folha de aprovação encontra-se assinada na Coordenação do Curso”

FRANCISCO BELTRÃO

2022

Dedico este trabalho à minha família e amigos que
sempre me apoiaram ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ouvir minhas preces e orações em momentos de frustração e desânimo e que sempre esteve comigo em todos os momentos, me abençoando e me dando sabedoria para todas as circunstâncias que enfrentaria.

Agradeço também à minha família e amigos que sempre estiveram comigo durante momentos de incertezas e angustias, por sempre me apoiar e incentivar durante mais um ciclo de minha vida. A eles dedico minha alegria por chegar ao fim deste percurso.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por todos ensinamentos durante a jornada acadêmica.

Às professoras Ana Paula de Oliveira Schmitz e Cleila Cristina Navarini Valdemeri pelo apoio e orientação desde o início do projeto, ao aceitar este desafio que seria novo para todas.

Aos professores Sheila Regina Oro e Douglas da Costa Ferreira por aceitarem em me orientarem por este período e pelo apoio para a realização do trabalho, e também ao professor Cledison Zatta Valdameri por aceitar fazer parte da minha banca de defesa e por todos os conselhos e orientações para este trabalho.

Agradeço as empresas Fazcolor e Evonik por fornecerem suporte, conhecimento e as matéria-prima para que pudesse realizar esta pesquisa.

Agradeço também ao IAPAR pelo fornecimento de dados que contribuiriam positivamente com a realização do projeto.

Agradeço imensamente a todas as pessoas e entidades que de alguma forma me ajudaram e contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho, seja direta ou indiretamente, a todos meu singelo e sincero agradecimento.

RESUMO

SILVA, L. P. Avaliação do desempenho térmico de tintas à base de água formuladas com dióxido de titânio em sua fase anatase e rutilo quanto ao conforto térmico. 2022. 143 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2022.

Em um contexto atual referente ao grande aumento da temperatura mundial, torna-se relevante o estudo e a busca por aplicações que minimizem o consumo de energia elétrica em habitações, destinado à climatização de ambientes. O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho térmico do pigmento TiO_2 em suas fases anatase e rutilo na formulação de tintas acrílicas a base de água, aplicadas em telhas de fibrocimento para a cobertura de habitações. O trabalho busca avaliar comparativamente três tintas aplicadas nas telhas de fibrocimento que serviram de cobertura para os protótipos, ambientes a serem estudados, e também realizar o comparativo destes ambientes a outro que não recebeu nenhum tipo de tratamento em sua cobertura. Por meio de estudos estatísticos realizados pelo *Software RStudio*, verificou-se que a média das temperaturas dos quatro tipos de tratamento não foram estatisticamente diferentes. Entretanto, se faz necessário uma continuidade no estudo quanto a outras funcionalidades do dióxido de titânio em sua fase anatase quanto ao impacto positivo ao meio ambiente e reforça-se a importância de estudos em novas alternativas sustentáveis que mostrem possíveis resultados positivos à redução de temperatura de ambientes internos de modo a se obter o conforto térmico de ambientes associado à redução de impactos negativos ao meio ambiente.

Palavras-chave: tintas; conforto térmico; dióxido de titânio; meio ambiente.

ABSTRACT

In a current context referring to the great increase in world temperature, it becomes relevant the study and search for applications that minimize the consumption of electricity in homes, destined to the air conditioning of environments. The main objective of this research was to evaluate the thermal performance of TiO_2 pigment in its anatase and rutile phases in the formulation of water-based acrylic paints, applied in fiber cement tiles for housing coverage. The work seeks to comparatively evaluate three paints applied in the fiber cement tiles that served as a cover for the prototypes, environments to be studied, and also to compare these environments to another that did not receive any type of treatment in its coverage. Through statistical studies conducted by Software *RStudio*, it was found that the average temperature of the four types of treatment were not statistically different. However, it is necessary to continue the study regarding other functionalities of titanium dioxide in its anatase phase regarding the positive impact on the environment and reinforces the importance of studies in new sustainable alternatives that show possible positive results to reduce the temperature of internal environments in order to obtain the thermal comfort of environments associated with the reduction of negative impacts to the environment.

Keywords: paints; thermal comfort; titanium dioxide; environment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Previsão de alteração da temperatura máxima no estado do Paraná de 2041 a 2070..... | 13 |
| Figura 2 – Dias consecutivos secos no estado do Paraná para o período de 2041 a 2070..... | 14 |
| Figura 3 – Consumo de energia elétrica no Brasil em 2018..... | 14 |
| Figura 4 – Consumo de energia elétrica e de condicionamento de ar no setor residencial..... | 15 |
| Figura 5 - Perfil de temperatura superficial de diferentes coberturas..... | 20 |
| Figura 6 – Classificação climática do Estado do Paraná..... | 21 |
| Figura 7 – Temperatura média ano verão no Estado do Paraná..... | 21 |
| Figura 8 – Composição básica de tintas à base de água e base de solvente..... | 25 |
| Figura 9 – Representação das três fases do TiO ₂ (a) rutilo (b) bruquita (c) anatase..... | 28 |
| Figura 10 – Dispersor DISPERMAT CN..... | 31 |
| Figura 11 – Localização geográfica da realização dos experimentos..... | 33 |
| Figura 12 – Planta baixa da estrutura dos protótipos..... | 34 |
| Fotografia 1 – Instalação dos protótipos construídos..... | 35 |
| Fotografia 2 – Instalação do protótipo 1..... | 35 |
| Fotografia 3 – Instalação do protótipo 2..... | 36 |
| Fotografia 4 – Instalação do protótipo 3..... | 36 |
| Fotografia 5 – Instalação do protótipo 4..... | 37 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Temperaturas médias diárias registradas no município de Francisco Beltrão..... | 22 |
| Gráfico 2 – Umidades relativas médias registradas no município de Francisco Beltrão..... | 23 |
| Gráfico 3 – Comportamento da temperatura durante o período de medição dos dados..... | 39 |
| Gráfico 4 – Comportamento da umidade relativa durante o período de medição dos dados..... | 40 |
| Gráfico 5 – Média das temperaturas dispostas de 00h as 04h..... | 41 |
| Gráfico 6 – Média das temperaturas dispostas de 04h as 08h..... | 41 |
| Gráfico 7 – Média das temperaturas dispostas de 08h as 12h..... | 42 |
| Gráfico 8 – Média das temperaturas dispostas de 12h as 16h..... | 42 |
| Gráfico 9 – Média das temperaturas dispostas de 16h as 20h..... | 43 |
| Gráfico 10 – Média das temperaturas dispostas de 20h as 00h..... | 43 |
| Gráfico 11 – Média dos dados de umidade relativa..... | 45 |
| Gráfico 12 – Independência dos resíduos..... | 49 |
| Gráfico 13 – Resultado do teste de Tukey para a série de valores de umidades relativas..... | 51 |
| Gráfico 14 – Boxplot para as umidades relativas..... | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Albedos de materiais urbanos..... | 19 |
| Tabela 2 – Propriedades físicas do TiO ₂ em sua fase rutilo e anatase..... | 29 |
| Tabela 3 – Composição base das tintas..... | 31 |
| Tabela 4 – Proporções de TiO ₂ rutilo e TiO ₂ anatase..... | 32 |
| Tabela 5 – Temperaturas máximas e mínimas de cada protótipo nos dias de coleta..... | 40 |
| Tabela 6 – Médias e desvios padrões das temperaturas ao longo dos cinco dias de medições..... | 46 |
| Tabela 7 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no primeiro período..... | 47 |
| Tabela 8 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no segundo período..... | 47 |
| Tabela 9 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no terceiro período..... | 48 |
| Tabela 10 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no quarto período..... | 48 |
| Tabela 11 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no quinto período..... | 48 |
| Tabela 12 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no sexto período..... | 48 |
| Tabela 13 - Valores P resultantes da ANOVA para cada período do dia..... | 48 |
| Tabela 14 – Resultado da ANOVA para a série de umidades relativas..... | 50 |
| Tabela 15 – Valor-p teste de Tukey..... | 51 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------|--|
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| NR | Norma Regulamentadora |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ICU | Ilha de calor urbano |
| IPT | Instituto de Pesquisa Tecnológica |
| IAPAR | Instituto Agrônomo do Paraná |
| IDR | Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná |
| NBR | Norma Brasileira |
| ABRAFATI | Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas |
| TiO ₂ | Dióxido de Titânio |
| UV | Ultravioleta |
| PIR | Poliisocianurato |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |
| FB | Francisco Beltrão |
| ANOVA | <i>Análise of Variances</i> |
| H ₀ | Hipótese nula |
| H ₁ | Hipótese alternativa |
| μ ₁ | Médias das temperaturas do protótipo 1 |
| μ ₂ | Médias das temperaturas do protótipo 2 |
| μ ₃ | Médias das temperaturas do protótipo 3 |
| μ ₄ | Médias das temperaturas do protótipo 4 |
| GL | Graus de liberdade |
| SQ | Soma de quadrados |
| MQ | Média quadrática |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 1.1 | Objetivos..... | 16 |
| 1.1.1 | Objetivo geral..... | 16 |
| 1.1.2 | Objetivo específico..... | 16 |
| 1.2 | Justificativa..... | 17 |
| 2 | REVISÃO DA LITERATURA..... | 18 |
| 2.1 | Conforto térmico..... | 18 |
| 2.1.1 | Ilhas de calor..... | 18 |
| 2.1.2 | Relação entre conforto térmico e as tintas..... | 19 |
| 2.2 | Condições climáticas..... | 20 |
| 2.3 | Transferência de calor..... | 23 |
| 2.4 | Tintas..... | 24 |
| 2.4.1 | Componentes e processo de fabricação..... | 25 |
| 2.4.2 | Tintas termo reflexivas e fotocatalíticas..... | 26 |
| 2.5 | Dióxido de titânio..... | 27 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 30 |
| 3.1 | Síntese das tintas..... | 30 |
| 3.2 | Aplicação das tintas..... | 32 |
| 3.3 | Execução dos protótipos..... | 32 |
| 3.4 | Medição e coleta de dados..... | 37 |
| 3.5 | Análise de dados de temperatura e umidade relativa..... | 38 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUÇÕES..... | 39 |
| 4.1 | Dados aferidos..... | 39 |
| 4.1.1 | Análise dos dados de temperatura..... | 40 |
| 4.1.2 | Análise dos dados de umidade relativa..... | 44 |
| 4.2 | Análise estatística dos dados..... | 45 |
| 4.2.1 | Comparação de temperatura..... | 46 |
| 4.2.2 | Comparação da umidade relativa do ar | 50 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 53 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 54 |
| | APÊNDICE A | 58 |
| | APÊNDICE B | 59 |
| | APÊNDICE C | 60 |

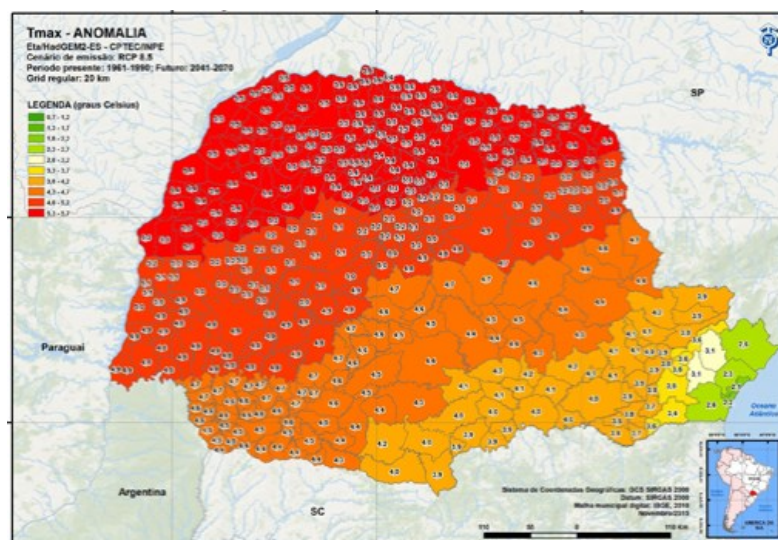
1 INTRODUÇÃO

O aumento significativo da temperatura mundial e o elevado índice de poluição atmosférica vêm sendo uma das questões ambientais que mais preocupam a sociedade. As regiões urbanas são as que mais sofrem com tais questões devido às grandes taxas de emissão de agentes poluentes, originado principalmente de veículos e indústrias.

O aumento da temperatura média global vem sendo provocada pelos crescentes níveis de emissões de gases de efeito estufa, principalmente de CO₂, como causas diretas de ações humanas, tendo como consequência o desequilíbrio do sistema climático. O dióxido de carbono (CO₂) é o gás de efeito estufa que mais vem contribuindo com as mudanças climáticas antropogênicas, com cerca de 64% das implicações climáticas totais (CONTIPELLI, 2018).

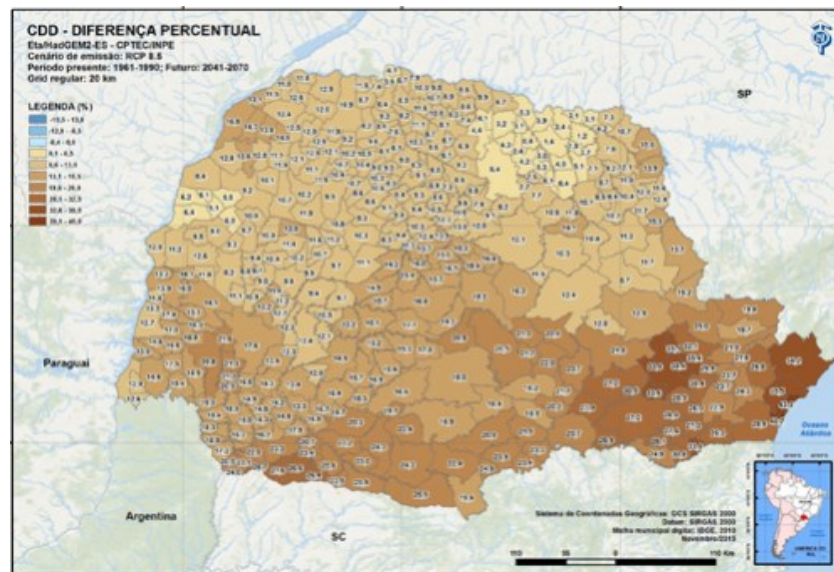
De acordo com um estudo realizado pela Fundação Oswaldo Cruz (ALVES, 2016), o qual avaliou a suscetibilidade de 399 municípios paranaenses no período de 2041 a 2070, espera-se significativas mudanças do clima no estado (Figura 1). Segundo a pesquisa, o estado poderá ter dias mais quentes e mais secos nos próximos 25 anos, tendendo a uma elevação da temperatura de até 5,6°C e uma redução de cerca de 18% no volume de chuvas em relação ao período atual. Segundo as previsões desta pesquisa, a região do sudoeste paranaense tenderá a ser a mais afetada em relação aos dias secos consecutivos no ano (Figura 2).

Figura 1 – Previsão de alteração da temperatura máxima no estado do Paraná de 2041 a 2070



Fonte: ALVES, 2016.

Figura 2 – Dias consecutivos secos no estado do Paraná para o período de 2041 a 2070

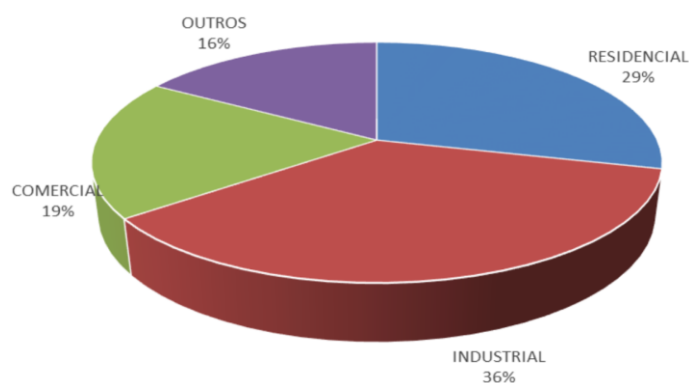


Fonte: ALVES, 2016.

Além disso, com o crescimento populacional, de indústrias e a expansão da agricultura, há uma exigência ainda mais significativa no uso sustentável da energia, assim como sua manutenção. Um reflexo disto é a queda da geração de energia da segunda maior usina hidrelétrica do mundo, hidrelétrica de Itaipu, localizada no oeste paranaense, que apresentou em 2021, uma queda de 13% de geração de energia com 66,3 milhões de megawatts. E uma das causas disto são as variações climáticas que o mundo vem enfrentando (Jornal Nacional, 2022).

No Brasil, em torno de 19% da produção nacional de energia elétrica é consumida pelo setor de edificações comerciais e 29% em edificações residenciais. Na Figura 3, pode-se verificar que este último é o segundo setor que mais consome energia elétrica no país, ficando atrás apenas de edificações industriais (EPE, 2019).

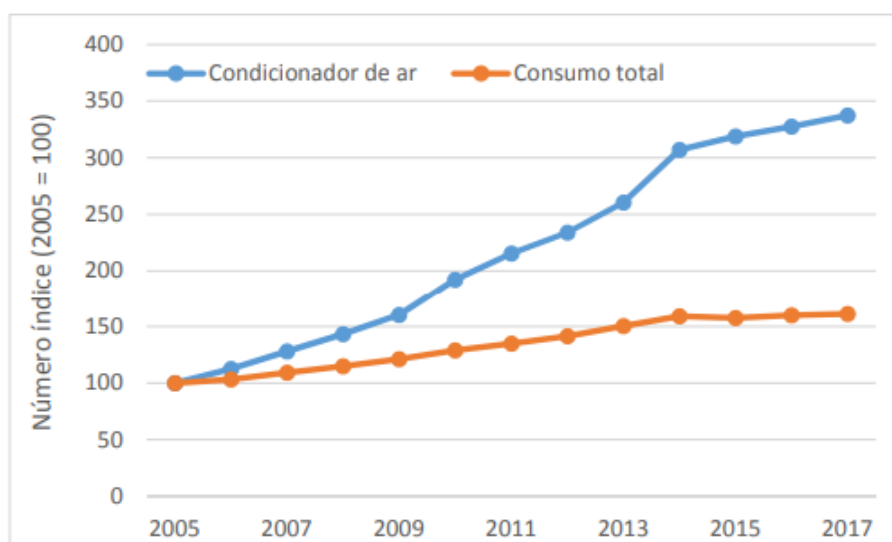
Figura 3 – Consumo de energia elétrica no Brasil em 2018



Fonte: EPE, 2019.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2018), o consumo excessivo de energia elétrica vem sendo gasto principalmente com o condicionamento de ar, conforme ilustrado na Figura 4, e estima-se que este consumo tenha aumentando em torno de 237% em um período de 12 anos, de 2005 a 2017.

Figura 4 – Consumo de energia elétrica e de condicionamento de ar no setor residencial



Fonte: EPE, 2018.

Segundo Chepp e Gasparin (2019), incentivar o uso eficiente e racional de energia elétrica em edificações, é de extrema importância econômica e ambiental, encontrando medidas de melhoramento do desempenho térmico e diminuindo o consumo da climatização além do uso excessivo de energia. Com isso, encontrar alternativas que possam contribuir com esta minimização, proporcionando de maneira satisfatória ao conforto térmico é imprescindível.

Uma das alternativas que contribui tanto para a amenização das temperaturas internas de edificações, e conseqüentemente a redução do consumo de energia é a utilização das chamadas tintas inteligentes. Essas tintas podem ser aplicadas como revestimentos em telhados e paredes agindo como barreira na radiação solar na região do infravermelho, minimizando assim a temperatura dessas superfícies e conseqüentemente a temperatura interna das edificações (VITTORINO *et al.*, 2003).

Por muito tempo as tintas eram aplicadas apenas por proporcionar um aspecto estético às residências. Ao passar dos anos o emprego das tintas começou a ter um grande propósito, a proteção. Segundo Fazenda (2009), as tintas começaram

a ser empregadas como aspecto protetor inicialmente em regiões da América do Norte e na Europa, onde as condições climáticas são mais severas.

No caso das tintas inteligentes, a principal característica que as diferem é o pigmento, que traz propriedades especiais para estas e diversas funcionalidades. O dióxido de titânio (TiO_2) é o pigmento mais eficaz empregado na formulação de tintas, este confere cobertura, brancura, durabilidade, opacidade e alto índice de refração. O TiO_2 comumente empregado nas tintas está em sua fase rutilo. Este apresenta grande estabilidade química, baixo custo e alta disponibilidade. Porém, o TiO_2 em sua fase anatase também tem sido estudado para a aplicabilidade das tintas com ações termo reflexivas, antifúngicas e fotocatalíticas (AMORIM, 2017).

Em virtude a tais funcionalidades do TiO_2 , o presente trabalho visa realizar um estudo teórico e prático, de modo a avaliar o impacto quanto a modificações na composição de tintas acrílicas a base de água com diferentes proporções de dióxido de titânio em suas fases rutilo e anatase, avaliando uma provável redução de temperatura interna de ambientes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a efetividade da tinta acrílica semi-brilho a base de água com diferentes proporções de dióxido de titânio em suas fases rutilo e anatase, na redução de temperatura interna de ambientes.

1.1.2 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos a se tratar neste presente trabalho estão:

- a) Sintetizar tintas acrílicas variando a proporção de TiO_2 rutilo e TiO_2 anatase (P25) em sua formulação;
- b) Executar a construção de protótipos, revestir sua cobertura com as tintas sintetizadas e implantá-los no campus da universidade;
- c) Comparar as temperaturas internas obtidas de protótipos revestidos com tintas sintetizadas, com e sem a presença do TiO_2 P25, avaliando o efeito deste.

- d) Analisar os resultados obtidos com o teste experimental de conforto térmico entre os protótipos, avaliando se houve alguma eficiência térmica de forma física;
- e) Realizar estudo estatístico dos resultados obtidos verificando se tais são considerados significantes;

1.2 Justificativa

O setor da construção civil vem se atentando a questões ambientais, com ações de sustentabilidade. A fim de se minimizar o excesso de trocas térmicas entre os ambientes é necessário que haja um isolamento adequado. Muitas inovações vêm sendo inseridas contribuindo de forma a melhorar tanto aspectos de altos custos de manutenção quanto na redução de gastos excessivos em energia elétrica, proporcionando, assim, melhorias no conforto térmico de edificações (SILVA, 2018).

O emprego de áreas verdes dentro de perímetros urbanos, além do desenvolvimento de novas tecnologias como tintas termo reflexivas, vem sendo exploradas com tais finalidades, assim como a minimização do fenômeno da ilha de calor. Estas alternativas se destacam, uma vez que são estratégias sustentáveis e ecologicamente corretas (FILHO, 2017).

É evidente que a preocupação com problemas ambientais que o planeta vem enfrentando, tanto com grande taxa de poluição, quanto o crescente aumento de temperatura, estimulem estudos que levem a solução destes problemas e ao conforto térmico. Visando tais questões, esta pesquisa tem o intuito de avaliar os efeitos das chamadas tintas termo reflexivas quanto a redução de cargas incidentes às superfícies minimizando a temperatura interna de edificações, assim como o estudo de uma nova alternativa para tais problemas, e também o desenvolvimento da tinta de maneira técnica.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Conforto térmico

O conforto térmico pode ser analisado por meio de dois grupos de variáveis, sendo eles de natureza pessoal e ambiental. No âmbito pessoal, avalia-se o isolamento térmico, que seriam as vestimentas e o metabolismo, tratando-se da atividade física que a pessoa executa. Referente ao âmbito ambiental, avalia-se a temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade relativa do ar ambiente (CARVALHO, 2018).

O estudo do conforto térmico é relevante, pois deseja-se avaliar e pontuar condições ideais para o desenvolvimento de atividades humanas traduzindo-se ao bem-estar térmico, proporcionando a melhora na performance humana, tendo que, muitas vezes, o desconforto térmico afeta o rendimento em suas ações (LAMBERTS, 2011).

Além do mais, de acordo com Sampaio *et al.* (2018), o estudo e a caracterização relacionados à ambiência e a zona do conforto térmico em ambientes de criação de animais, na avicultura e produção pecuária, também vem sendo crescente e de extrema importância para a avaliação do microclima destes ambientes para a produção vegetal e animal.

De acordo com a NBR 17 (ABNT, 2011), a respeito da ergonomia, considera que a temperatura de ambientes internos deve ser entre 20 e 23 graus centígrados, e umidade relativa superior a 40%. De acordo com a norma ISO 9241/2011 exige-se que a temperatura ideal é de 20 a 24 graus centígrados no verão e 23 a 26 no inverno (ABNT, 2011).

2.1.1 Ilhas de calor

Em meio aos estudos acerca do conforto térmico, um importante fenômeno a ser levado em consideração é a formação das ilhas de calor. Segundo Teixeira e Amorim (2017), ilha de calor é um fenômeno caracterizado pela cúpula de ar quente que se forma sobre a superfície urbana e que provém de variações no uso da terra. A

formação das ilhas de calor é favorecida pelo calor que vem se acentuando ao longo dos anos.

O fenômeno de ilha de calor urbano (ICU) é mais característico nos ambientes urbanos do que em zonas rurais, constatando-se de que os centros urbanos apresentam temperaturas mais elevadas, principalmente nas regiões comerciais, e à medida que se tende a se afastar desta área em direção a áreas rurais as temperaturas diminuem. Diversos fatores de albedos, chamados também de coeficientes de reflexão, são altamente dependentes dos tipos de materiais aplicados na construção civil, e que implicam fortemente na radiação absorvida e emitida pela superfície. Alguns índices de albedos referente a materiais urbanos são retratados como exemplo na Tabela 1 (BIAS *et al.*, 2003).

Tabela 1 - Albedos de materiais urbanos

| Materiais Urbanos | Albedos (%) |
|--------------------------------|--------------------|
| Telhados de alta refletividade | 60 a 70 |
| Telhado vermelho/marrom | 10 a 35 |
| Telhado rugoso | 10 a 15 |
| Pintura branca | 50 a 90 |
| Pintura colorida | 15 a 35 |
| Concreto | 10 a 35 |
| Asfalto | 5 a 20 |
| Árvores | 15 a 18 |
| Gramma | 25 a 30 |

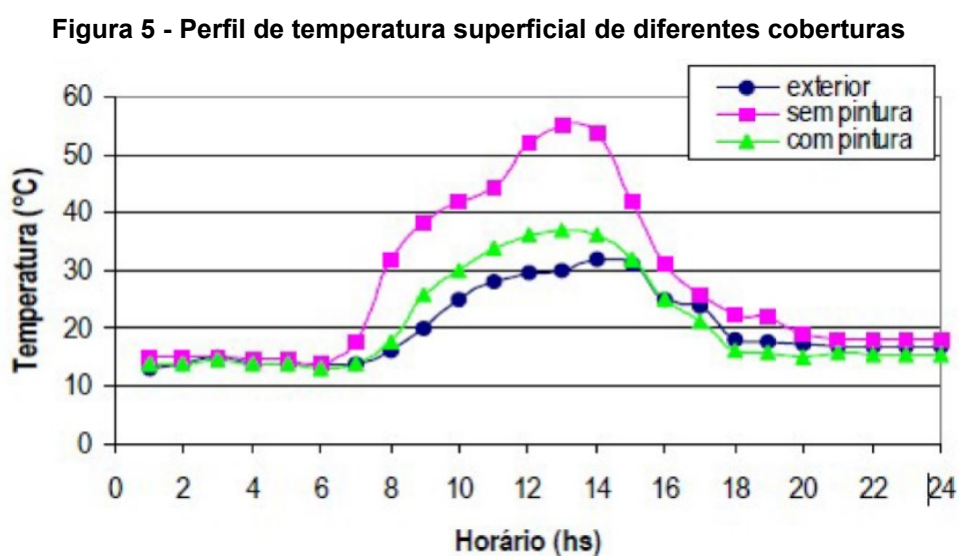
Fonte: Adaptado de BIAS *et al.* (2003).

2.1.2 Relação entre o conforto térmico e as tintas

Ao comparar tintas termo reflexivas e tintas convencionais da mesma tonalidade, pode-se verificar que tintas convencionais podem reduzir a temperatura superficial, porém ainda pode-se perceber elevadas temperaturas no interior de seus ambientes. Enquanto as tintas termo reflexivas, quando aplicadas na região superficial de suas ambientações, colaboram de maneira mais eficiente com o desempenho térmico do ambiente de maneira mais eficiente, reduzindo a taxa de transferência de calor absorvido (CASTRO, 2002).

Simpson e McPherson (2003), realizaram um estudo avaliando os efeitos de reflectância em coberturas residenciais no estado do Arizona (EUA), e puderam concluir que coberturas pintadas com tinta branca apresentaram uma diferença de 20°C quando comparado com coberturas sem pintura, e ao comparar coberturas com coloração escura verificaram uma diferença de até 30°C, concluindo assim, que o material de refletância interfere significativamente na temperatura do ambiente.

De acordo com Filho (2017), com o intuito de analisar o comportamento da temperatura superficial de coberturas, o Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) realizou um estudo mantendo-as expostas à radiação solar, podendo assim verificar o quanto as tintas poderiam contribuir com a redução da temperatura (Figura 5). Com o estudo, pode-se concluir que superfícies expostas à radiação solar sem nenhum tipo de cobertura apresentaram temperaturas bem mais altas ao comparar com as superfícies que receberam o tratamento com a pintura.



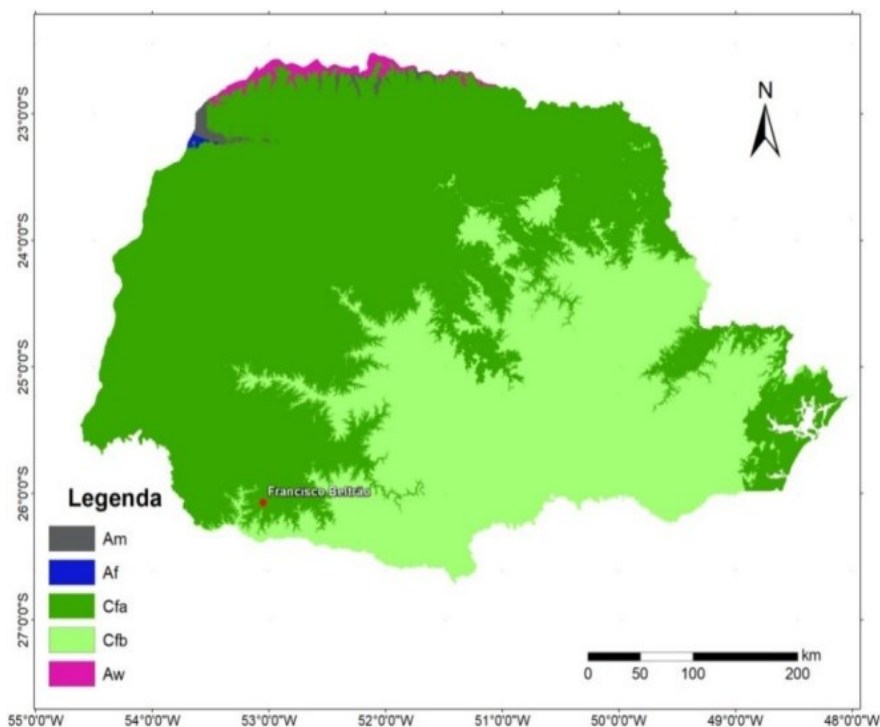
Fonte: FILHO (2017).

2.2 Condições climáticas

O estudo das condições climáticas e o seu comportamento em determinada região torna-se imprescindível quando se deseja avaliar o conforto térmico, uma vez que a temperatura do ar e a umidade relativa do ar são fatores determinantes para a aplicabilidade do estudo e também quanto a avaliação troca de calor entre o indivíduo e o ambiente (LAMBERTS, 2011).

De acordo com o Instituto Agrônômico do Paraná (2019), o clima da região do sudoeste paranaense é considerado subtropical úmido, com temperaturas superiores a 22°C no verão e uma pluviosidade de 30 mm no mês mais seco do ano, seguindo a classificação dos tipos climáticos segundo Koeppen e conforme dados registrados pelo IAPAR (Figura 6)

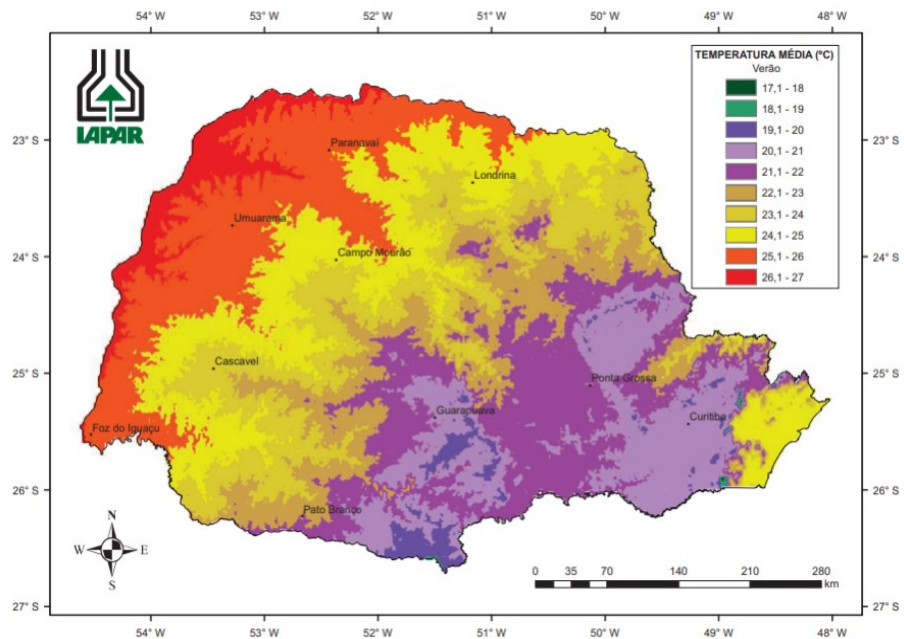
Figura 6 – Classificação climática do Estado do Paraná



Fonte: IAPAR, 2019.

E além disso, a temperatura média do ar no período do verão para a região do sudoeste do paranaense no ano de 2019 ficou em torno de 23 a 25 graus centígrados (Figura 7).

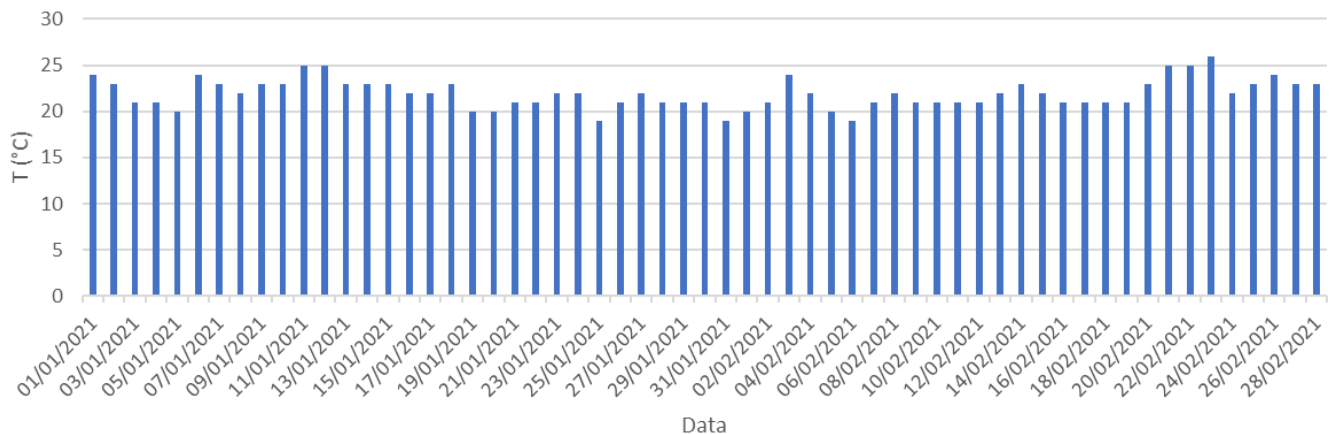
Figura 7 – Temperatura média ano verão no Estado do Paraná



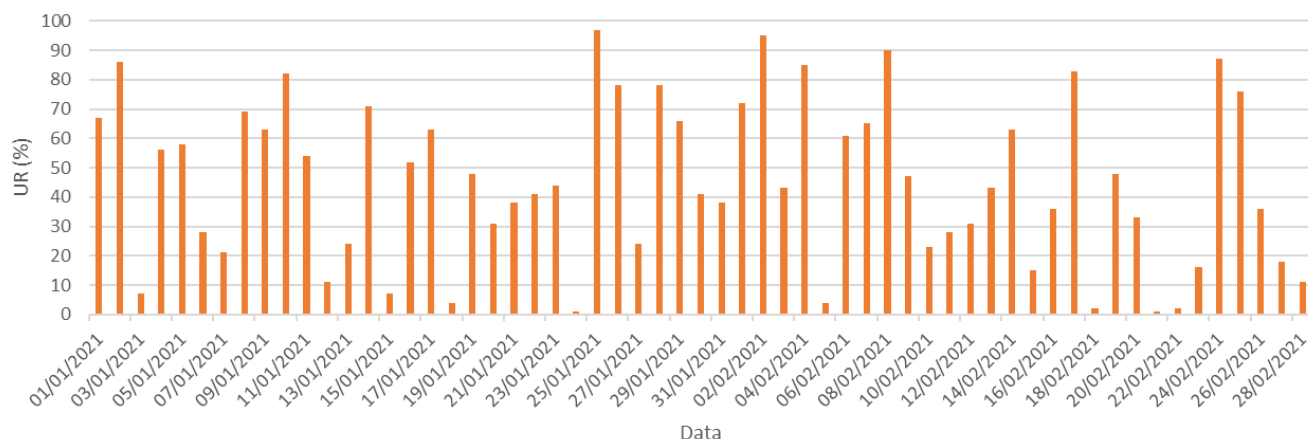
Fonte: IAPAR, 2019.

Segundo dados registrados pelo Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (2021), verificou-se as seguintes temperaturas e umidade relativas médias aferidas no município de Francisco Beltrão no período de 01 de janeiro a 28 de fevereiro de 2021, ilustradas nos Gráficos 1 e 2, respectivamente.

Gráfico 1 – Temperaturas médias diárias registradas no município de Francisco Beltrão



Fonte: Adaptado de IDR-PARANÁ, 2021.

Gráfico 2 – Umidades relativas médias registradas no município de Francisco Beltrão

Fonte: Adaptado de IDR-PARANÁ, 2021.

O período em questão trata-se do mesmo em que o estudo desta pesquisa foi realizado, observando uma temperatura média máxima nos meses de janeiro e fevereiro de 21,9°C e 22,07°C, tendo como temperatura máxima e mínima de 26°C e 21°C, respectivamente, durante o período das medições compreendido entre os dias 17 a 23 de fevereiro de 2021. Quanto à umidade relativa, pode-se verificar alguns valores contingentes, com os baixos valores de umidade (de 0 a 10) podendo ter ocorrido algum erro de coleta

2.3 Transferência de calor

Para a projeção de edificações energeticamente eficientes se faz necessário o entendimento a respeito de transferência de calor do ambiente externo para o interno. O calor pode ser transferido por três mecanismos físicos, a condução, convecção e radiação (SPECHT *et al.*, 2010).

Na condução ocorre a transferência de energia de partículas mais energéticas para menos energéticas a partir da interação entre ambas, onde partículas mais energéticas transferem esta energia acumulada para partículas menos energéticas. Além disso, este fenômeno ocorre em regime estacionário (INCROPERA, 2008).

A convecção ocorre por meio de uma superfície sólida para um líquido ou gás adjacente, que está em movimento, combinando mecanismos de condução e o movimento do fluido. Este mecanismo é originado por uma força externa em virtude de uma diferença de pressão ou densidade (KREITH, 2003).

O mecanismo de transferência de calor por radiação ocorre o transporte de energia por meio de ondas eletromagnéticas, a emissão também ocorre a partir de gases e líquidos, sem a necessidade de um meio material para sua propagação, ocorrendo até no vácuo (ÇENGEL e GHAJAR, 2012).

No que diz respeito ao desempenho térmico das edificações, a radiação solar é o mecanismo primordial no estudo, pois trata-se da transferência de calor entre um ambiente interno e o ambiente externo o qual varia conforme às características das superfícies que incide a radiação (FILHO, 2017). Quanto ao aumento da temperatura superficial, as radiações que não são absorvidas pela superfície, ou seja, que não são refletidas ao longo do espectro solar, faz com que a temperatura desta superfície se eleve (POCKETT e BELUSKO, 2010).

Quando uma superfície é exposta à radiação solar, essa tende a atingir um equilíbrio térmico e a temperatura de tal superfície varia em função da emitância térmica do material que está exposto. Essa emitância estabelece uma quantidade de calor que é irradiada por unidade de área a uma determinada temperatura. Ou seja, a emitância é a facilidade em que determinada superfície tem de eliminar calor, tendo isto, uma superfície com temperatura mais elevada tende a eliminar com mais facilidade seu calor (POCKETT e BELUSKO, 2010).

2.4 Tintas

Conforme a NBR 12554:2013 (ABNT, 2013), tintas são misturas homogêneas formadas por uma dispersão de pigmentos em solução ou emulsão de um ou mais polímeros que quando aplicadas sobre uma superfície, converte-se em um filme aderente com a finalidade de proteger ou embelezar. As tintas podem ainda ser aplicadas com a função de assegurar questões de higiene e limpeza, eficiência e iluminação, visibilidade e segurança.

As tintas comerciais imobiliárias podem ser tanto à base de água quanto à base de solvente, e estas devem ser aplicada em superfícies específicas para tal. Os principais componentes dessa mistura homogênea são as resinas, solventes, pigmentos, cargas e aditivos, conforme representado na Figura 8, e a proporção de cada componente varia de acordo com o tipo de revestimento, sua funcionalidade, características estéticas e tipo de aplicação (IKEMATSU, 2007).

Figura 8 – Composição básica de tintas à base de água e base de solvente



Fonte: IKEMATSU, 2007

2.4.1 Componentes e processo de fabricação

A resina é o componente principal das tintas, sendo um líquido não volátil que confere a formação de uma película seca, que adere à superfície a qual é aplicada, conferindo dureza, proteção, aderência, retenção de cor e brilho (ABRAFATI, 2006).

Os solventes são líquidos voláteis com a finalidade de solubilizar a resina e garantir a forma líquida da formulação conservando sempre o mesmo padrão de viscosidade. O principal solvente utilizado em tintas de base aquosa é a água, pois, além de ser o solvente orgânico universal, apresenta características neutras que não prejudicam a saúde humana (AMORIM, 2017).

Os pigmentos geralmente são partículas sólidas e orgânicas que tem como principal funcionalidade conferir cor, opacidade, consistência, durabilidade e cobertura aos filmes de tinta. Dentre o pigmento mais empregado na indústria destaca-se o dióxido de titânio, um pigmento inorgânico branco (ABRAFATI, 2006).

As cargas são minerais inorgânicos insolúveis na resina que conferem brancura e granulometria e têm como finalidade aumentar o teor de sólidos contidos na tinta de forma a melhorar a qualidade, a durabilidade e a impermeabilidade, proporcionando também a possibilidades de ajustes de brilho. Os minerais mais utilizados são carbonato de cálcio precipitado, sulfato de bário, sílica, sílico-aluminato de sódio, entre outros (YAMANAKA *et al.*, 2006).

De acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas (2006), os aditivos são produtos químicos solúveis na resina que apresentam alto grau de

eficiência, adicionados em baixas concentrações às formulações (< 5%). São aplicados às tintas para melhorar condições de desenvolvimento, aplicação e determinadas propriedades da tinta e aos revestimentos. Os aditivos geralmente empregados nas tintas são: bactericidas, fungicidas, antiespumantes, dispersantes, surfactantes, coalescentes, alcalinizantes e espessantes.

No processo de fabricação das tintas predominam-se operações unitárias, compreendidas por: pré-mistura, dispersão, completagem, filtração e envase, além das operações químicas, que ocorrem ao longo do processo de fabricação e também na secagem do filme de tinta após sua aplicação (ABRAFATI, 2006).

2.4.2 Tintas termo reflexivas e fotocatalíticas

De acordo com Filho (2017), as tintas que possuem características termo refletoras apresentam pigmentação branca, uma vez que proporcionam alta refletância à radiação, fenômeno pelo qual causa o aquecimento de superfícies quando expostas à luz solar. As tintas termo reflexivas são tipos de tintas termicamente isolantes utilizadas na construção civil, capazes de refletir raios solares incididos nos locais os quais a tinta é aplicada (SILVA, 2018).

Segundo Preuss (2016), estas tintas formam uma espécie de obstáculo à radiação solar do infravermelho, minimizando o aquecimento da superfície, porém não alteram a cor observada, logo, não mudam a interação do pigmento com o comprimento de onda na região visível. Logo, há uma redução superficial e consequente redução interna dos ambientes as quais são aplicadas. Este tipo de tinta é também classificado como “materiais seletivos frios” e devem apresentar alta emissividade e refletância à radiação solar, sendo esta última maior à 65%

Algumas tintas termo refletoras, sendo estas especificamente à base de água, possuem em sua composição microesferas ocas de vidro, e vêm sendo estudadas devido à alta capacidade de interferir na redução de temperatura (PANNONI, 2007). Com estas se consegue reduzir em até 60% o consumo da energia elétrica quando aplicadas em coberturas (SILVA, 2018).

Outro tipo de tinta que vem sendo extensivamente avaliada são as tintas fotocatalíticas, sendo o dióxido de titânio (TiO_2) o principal componente empregado nestas. Diversas formas de impregnação do TiO_2 fotocatalítico em tintas vêm sendo

estudadas a fim de se obter um material com propriedades específicas, como na purificação do ar pela degradação de poluentes (AMORIM, 2017).

De acordo com Amorim (2017), para o desenvolvimento das tintas com propriedades fotocatalíticas, o ponto principal é determinar o equilíbrio entre a degradação dos poluentes presentes na superfície e a degradação da matriz polimérica do filme de tinta. Em um estudo realizado por Águia *et al.* (2010) foi avaliado o poder da atividade fotocatalítica da tinta que continha TiO_2 em sua forma anatase e foi verificado que a presença do TiO_2 rutilo reduziu a atividade fotocatalítica do filme em virtude à absorção de fótons na região do UV.

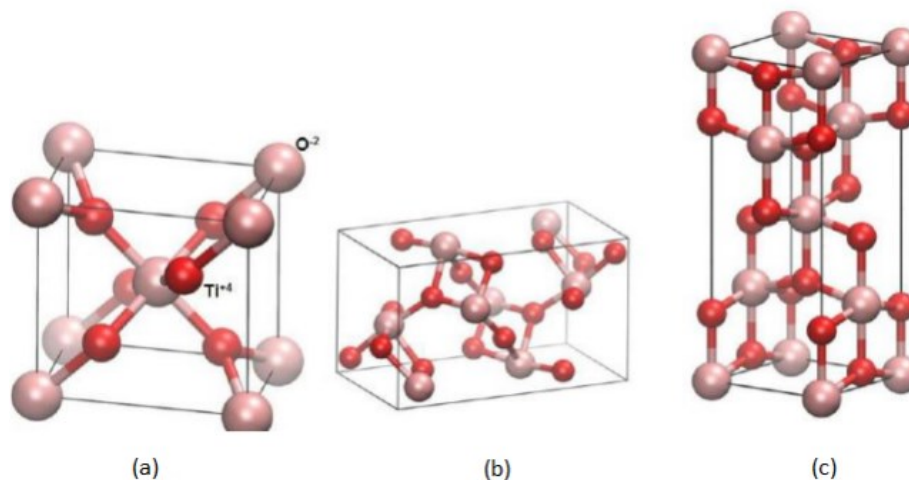
O outro fator que interfere na atividade fotocatalítica da tinta é a espessura dos filmes de tintas. Quanto mais camadas de filme, maior será a quantidade de fotocatalisador que estará em contato com os poluentes, logo, maior será a atividade fotocatalítica da tinta. Porém existe um valor ótimo de camadas, antes que atinja o ponto quando o excesso destas impossibilita de irradiar todo o dióxido de titânio presente no filme de tinta (MONTEIRO *et al.*, 2015).

Quando tratamos de tintas fotocatalíticas, além de querer aumentar essa atividade do material, deseja-se também melhorar a estabilidade e durabilidade dos filmes de tintas. Visto isso, comprovou-se por meio de estudos e experimentos que, ao submeter o filme de tinta a um tratamento preliminar sob luz UV, ocorre a degradação inicial do ligante de partículas de TiO_2 estabilizando às reações que ocorrem na superfície da tinta (ÁGUIA *et al.*, 2011; MONTEIRO *et al.*, 2015).

2.5 Dióxido de titânio

O dióxido de titânio é um material que vem sendo empregado no campo da ciência, tecnologia, nas áreas ambientais e energéticas devido suas propriedades físico-químicas (MICHELOTTI, 2019). Este material é encontrado na natureza nas formas alotrópicas: rutilo, anatase e bruquita (Figura 9). As três fases possuem elevado índice de refração quando comparado com os outros materiais. O dióxido de titânio apresenta um índice de refração de 2,5 a 2,7, fazendo com que este pigmento forneça uma maior opacidade no filme de tinta (PREUSS, 2016).

Figura 9 – Representação das três fases do TiO₂ (a) rutilo (b) bruquita (c) anatase



Fonte: Adaptado de Arruda (2021).

O TiO₂ é formado por íons de Ti⁴⁺ no centro de um octaedro e por seis íons O₂. As estruturas atômicas do TiO₂ em suas fases rutilo e anatase apresentam distorções distintas nos octaedros formados pelos átomos de O₂ (BRANDÃO, 2008).

Nas formulações de tintas prediais, é empregado o TiO₂ em sua fase rutilo, por ser a fase mais estável em termos termodinâmicos e apresentar elevado índice de refração e efetivas propriedades de espalhamento de luz (AZEVEDO; AGUIAR; TORRAL, 2012).

Outras características importantes que justificam a aplicabilidade do TiO₂ rutilo são a grande estabilidade química, baixo custo e alta disponibilidade, e também é um importante agente que confere à tinta brilho, cobertura, brancura, durabilidade e opacidade. Geralmente emprega-se de 5 a 20% do TiO₂ nas tintas, conferindo diferentes características e qualidades (DRESSLER *et al.*, 2016).

Já a fase anatase do TiO₂ vem sendo largamente estudada devido sua elevada foto atividade, possui alto poder oxidante quando exposta à radiação UV, não é tóxico e apresenta estabilidade química (PARAMÉS, 2008). Segundo Brandão (2008), o TiO₂ em sua fase anatase possui sua forma estrutural mais alongada, conferindo maior densidade ao material quando comparada com a fase rutilo, o que explica diferentes propriedades entre as duas formas, em específico o índice de refração, estabilidade e densidade, conforme exposto na Tabela 2

Tabela 2 – Propriedades físicas do TiO₂ em sua fase rutilo e anatase

| Propriedade | TiO ₂ Anatase | TiO ₂ Rutilo |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Aparência | Pó branco brilhante | Pó branco brilhante |
| Densidade (g/cm ³) | 3,70 – 3,85 | 3,75 – 4,15 |
| Índice de refração | 2.55 | 2.71 |
| Estrutura cristalina | Prisma tetragonal | Tetragonal |
| Tamanho médio de partícula (µm) | 0,14 – 0,15 | 0,17 – 0,24 |
| Área superficial | 10 - 14 | 7 - 30 |
| Dureza Mohs | 5,5 | 6,5 – 7,0 |
| <i>Band gap</i> (eV) | 3,29 | 3,05 |

Fonte: Adaptado de Preuss, 2016.

Pelo fato de o TiO₂ ser um óxido semicondutor proporciona às tintas um recobrimento fotocatalítico quando exposto a radiação solar, decompondo também vários compostos orgânicos que podem ser poluidores (AMORIM, 2017). A fase bruquita do dióxido de titânio em sua forma cristalina não se apresenta estável, não tendo interesse comercial (MARANHÃO, 2009).

O TiO₂ em sua forma anatase, apesar de ser metaestável, um revés à foto atividade, o elemento apresenta energia de *bandgap* equivalente a 3,2 eV, sendo que, entre +2,0V a +3,5V são potenciais muito bons, dependendo do semicondutor e do pH. Outras importantes características que contribuem fortemente na eficiência do TiO₂ anatase é sua elevada área superficial, em torno de 50 m²g⁻¹ e alta densidade de seus sítios ativos de adsorção. O dióxido de titânio aplicado para fins fotocatalíticos é o TiO₂ Aerosil P25 que se apresenta em 80% em forma anatase, fabricado pela empresa alemã, Evonik Degussa, (MARTINS, 2016).

Em sua forma rutilo não se torna muito adequado para a utilização em processos fotocatalíticos pois este elemento apresenta características morfológicas que dificultam a absorção de O₂ em sua superfície (BATISTTI, 2016). O menor *bandgap* da fase rutilo do TiO₂ possibilita uma maior possibilidade de recombinar o par elétron e lacuna, fazendo com que o potencial fotocatalítico dessa fase diminua (HANAOR e SORRELL, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desta pesquisa fundamenta-se na avaliação da eficiência de tintas quanto ao conforto térmico, avaliada por meio da captação da temperatura interna em protótipo de concreto recobertos por telhas de fibrocimento, as quais foram submetidas ao revestimento das tintas em estudo.

O procedimento de análise deste trabalho baseia-se em uma coleta de dados experimentais realizados no interior dos protótipos por meio de sensores termopares, um sistema em Arduino para a medição de temperaturas e umidade relativa do ar.

Para a construção dos protótipos para esta pesquisa se buscou uma maior equivalência à realidade, utilizando material de concreto para a parte estrutural dos protótipos e coberturas com telhas de fibrocimento, sendo de importância o destaque às vedações necessárias em partes vazadas com espumas próprias para vedação térmica, além de massa de assentamento para a correção de imperfeições na estrutura do material cimentício, onde pudesse haver qualquer entrada de vento, interferindo na coleta dos dados.

Salvo as limitações que esta pesquisa teve em relação à quantidade de material para a síntese das tintas, no caso o dióxido de titânio em sua fase anatase (P25), além dos sensores disponíveis para a coleta dos dados de temperatura e umidade relativa do ar.

A seguir são apresentadas as etapas de execução dos materiais para o estudo.

3.1 Síntese das tintas

A síntese das tintas foi a primeira etapa do trabalho, sendo esta de muita importância, pois trata-se de ser o referente material em estudo desta pesquisa.

Para a preparação das tintas, realizou-se estudos bibliográficos de modo a se determinar a composição e o percentual das matérias-primas empregadas na formulação, além disso houve a colaboração da indústria Fazcolor, localizada na cidade de Machadinho, Rio Grande do Sul, que contribuiu com orientações e recomendação quanto à formulação além de fornecer os insumos para a síntese. A indústria Evonik Degussa Brasil colaborou também, com o fornecimento do dióxido de titânio P25 empregado nas tintas.

As tintas sintetizadas seguiram uma formulação de tinta acrílica semi-brilho a base de água. Na Tabela 3, apresenta-se a formulação das tintas variando as proporções do pigmento branco dióxido de titânio do tipo rutilo e do tipo anatase.

Tabela 3 – Composição base das tintas

| Matéria-prima | Porcentagem (% m/m) |
|------------------------------------|----------------------------|
| Solventes | 41 |
| Carga mineral | 4 |
| Dióxido de titânio rutilo * | 15 a 20 * |
| Dióxido de titânio anatase (P25) * | 0 a 5 * |
| Resina acrílica | 30 |
| Aditivos | 5 |

Fonte: Autor (2022).

Estas foram sintetizadas em um dispersor semelhante ao DISPERMAT CN com disco dispersos *cowless* acoplado e um reator com capacidade de 2000 mL (Figura 10), fornecido pela indústria Fazcolor. É importante destacar o tipo de disco utilizado na preparação, pois este realizará o corte do pigmento de maneira adequada, diluindo e homogeneizando por completo.

Figura 10 – Dispersor DISPERMAT CN



Fonte: DISPERMAT (2022).

A primeira etapa de preparação da tinta tratou-se de toda a separação dos materiais e reagentes de acordo com cada formulação. O processo de síntese das tintas iniciou-se com a completa dispersão do dióxido de titânio em água sob alta

rotação (3000 rpm) por 60 minutos. Esta primeira etapa do processo de síntese das tintas é muito importante pois a distribuição do TiO_2 no sistema à base de água determina a interação coloidal das partículas do pigmento e caso não haja a devida sua dispersão pode-se formar aglomerados que resultam uma maior rugosidade à partícula influenciando no poder de cobertura da tinta de forma negativa.

Após este procedimento inicial alguns aditivos e o restante da água são adicionados ao meio. Em seguida, sob baixa rotação (350 rpm) foi adicionada a resina acrílica e demais solventes e coalescentes, e com o auxílio de um pHmetro verifica-se o pH da tinta após a adição destes componentes, seguindo com a baixa agitação até completa homogeneização da mistura. Por fim é adicionado o espessante, sempre controlando a rotação (350 a 600 rpm) até que se atingisse a viscosidade ideal.

3.2 Aplicação das tintas

A aplicação das tintas foi realizada apenas na superfície superior das telhas de fibrocimento, para isso se utilizou pincel de cerdas finas, sendo dadas três camadas de tinta de modo a garantir uma melhor formação do filme do revestimento.

Após as pinturas das telhas estas foram instaladas dos protótipos. No protótipo 1 instalou-se as telhas sem tintas e nos demais, 2, 3 e 4 foram cobertos com as telhas pintadas com as diferentes tintas sintetizadas, onde variou-se o percentual do dióxido de titânio rutilo e anatase (P25). As porcentagens de TiO_2 empregadas nas tintas aplicadas em cada protótipo são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Proporções de TiO_2 rutilo e TiO_2 anatase

| Protótipo | Porcentagem de TiO_2 rutilo (% m/m) | Porcentagem de TiO_2 anatase (% m/m) |
|-----------|--|---|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 20 | 0 |
| 3 | 15 | 5 |
| 4 | 17,5 | 2,5 |

Fonte: Autor (2022).

3.3 Execução dos protótipos

Os protótipos foram instalados na área externa do campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão (UTFPR-FB), de modo a ficarem expostos ao sol, com o intuito de captar a incidência dos raios solares durante

todo o dia, aferindo assim as variadas temperaturas. Os protótipos foram dispostos na região delimitada em amarelo conforme ilustrado na Figura 11. O ambiente de estudo é localizado nas coordenadas: Latitude 26,05° S de latitude, 53,04° W de longitude e 650 metros de altitude.

Figura 11 – Localização geográfica da realização dos experimentos



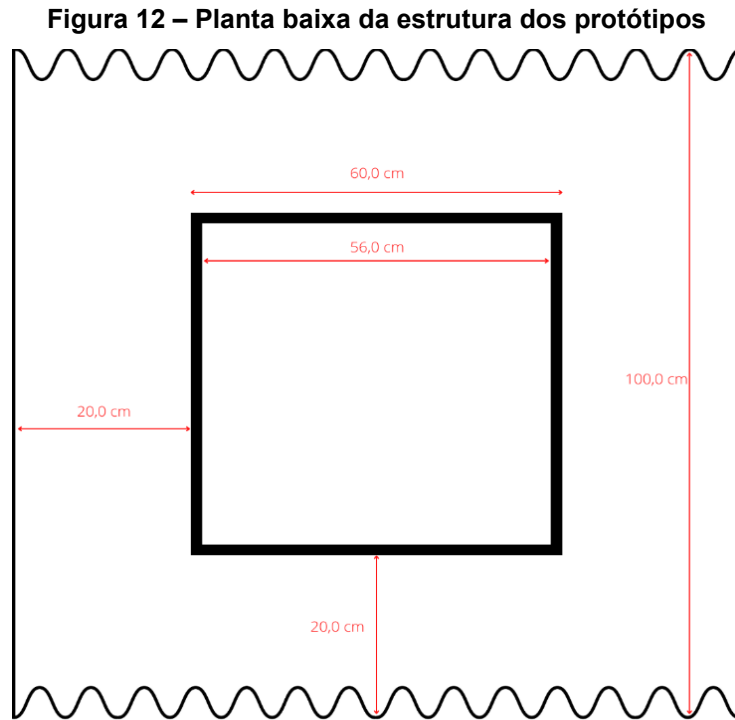
Fonte: Google Earth (2022).

Para a construção do corpo estrutural dos protótipos utilizou-se oito caixas de concreto pré-moldadas com dimensão 0,60x0,60x0,60m e com 20 mm de espessura, sendo quatro delas com apenas uma face vazada, instaladas na parte inferior de cada protótipo, com a face vazada para cima, e o restante com duas faces vazadas alocadas acima das caixas inferiores, utilizando duas por protótipo para atingir uma altura superior a um metro.

Para a cobertura foram utilizadas telhas onduladas de fibrocimento cinza, com dimensões de 2,44x0,50m com 4 mm de espessura. Para as vedações entre as telhas e os caixotes de concreto utilizou-se uma espuma rígida de poliisocianurato (PIR), que se trata de um importante material empregado na construção civil como isolante térmico. Para o assentamento dos caixotes e correção de pequenas imperfeições nas suas superfícies, que pudessem vir a promover algum tipo de interferência na captação dos dados de temperatura no interior da estrutura montada, utilizou-se massa de pronta de assentamento.

Inicialmente para a execução dos protótipos, as telhas foram mecanicamente serradas de modo a se obter um comprimento de 100 cm. As telhas foram instaladas

de modo a ficarem devidamente centradas nos caixotes com uma sobra de 20 cm em todas as faces laterais dos caixotes, utilizando então, duas telhas de 100x50cm em cada protótipo. Dessa forma, a planta baixa da estrutura dos protótipos é ilustrada na Figura 12.



Fonte: Autor (2022).

Os quatro protótipos foram igualmente posicionados e diagonalmente direcionados com uma das faces para o sentido sul geográfico, e espaçados a uma distância lateral de um metro entre si, de modo que sua sombra não alcancem um ao outro em nenhum período do dia (Fotografia 1), podendo-se aproveitar a maior taxa de incidência luminosa dos raios solares durante todo o dia.

Fotografia 1 – Instalação dos protótipos construídos



Fonte: Autor (2022).

Nas imagens abaixo (Fotografias 2 a 5), pode-se verificar a instalação de cada protótipo com duas devidas coberturas.

Fotografia 2 – Instalação do protótipo 1



Fonte: Autor (2022).

Fotografia 3 – Instalação do protótipo 2



Fonte: Autor (2022).

Fotografia 4 – Instalação do protótipo 3



Fonte: Autor (2022).

Fotografia 5 – Instalação do protótipo 4



Fonte: Autor (2022).

3.4 Medição e coleta de dados

Após a construção dos quatro protótipos, os dispositivos de leitura foram inseridos internamente e instalados no centro geométrico de cada um, e após realizada as devidas vedações nos blocos, as medições se iniciaram.

Para a coleta de dados empregou-se um sistema programado utilizando um microcontrolador Arduino, coletando valores de temperatura e de umidade relativa do ar. Os sensores termopares foram instalados no centro de cada protótipo, a uma altura de aproximadamente 30 centímetros da base. Após toda a instalação, os sensores foram ligados todos no mesmo momento, começando assim o registro dos dados.

O período de coleta de dados compreende sete dias ininterruptos no mês de fevereiro de 2021. Este período de coleta de dados foi definido uma vez que se encontrava na estação do verão com temperaturas bem significativas podendo captar elevadas temperaturas ao longo do dia.

As amostras utilizadas para a análise física e estatística do comportamento das temperaturas compreende entre os intervalos do 2º ao 6º dia de coleta, uma vez que foi necessário descartar os pontos iniciais do primeiro dia devido à estabilização dos sensores. Os dados foram aferidos e armazenados pelo dispositivo de 15 em 15

minutos, conforme a programação dos sensores resultando, assim, em 96 pontos registrados por dia, em cada protótipo, totalizando 3.840 leituras analisadas de temperatura e umidade relativa do ar, durante os 5 dias de coleta e dos quatro protótipos.

3.5 Análise dos dados de temperatura e umidade relativa

Para as análises estatísticas, aplicaram-se testes de hipóteses aos dados amostrais, com testes de variância e comparação de médias por meio do *Software RStudio*, uma linguagem estatística de código aberto, possibilitando a avaliação e a comparação dos tratamentos, além de determinar a significância da variação entre as temperaturas aferidas nos quatro protótipos, os quais seriam os quatro tratamentos empregados no experimento:

- a) Protótipo 1 – telhas sem pinturas;
- b) Protótipo 2 – telhas revestidas com tinta 20% de TiO₂ rutilo TiO₂ P25;
- c) Protótipo 3 – telhas revestidas com tinta 5% de TiO₂ P25;
- d) Protótipo 4 – telhas revestidas com tinta 2,5% de TiO₂ P25;

Desta forma, com os dados coletados, foi possível se determinar a média aritmética e o desvio padrão de cada tratamento. Ao aplicar a análise de variância sobre a série de dados, determinou-se as hipóteses nula e alternativa, que será averiguado com a aplicação da ANOVA. Ao final do teste de hipóteses, pode-se concluir qual é a verdadeira.

Após a aplicação da ANOVA, se faz necessário apresentar as análises dos resíduos de modo a verificar os pressupostos da ANOVA. O teste de T de Student também foi empregado no estudo de modo realizar a comparação das médias dos dados duas a duas, possibilitando determinar se houve diferença significativa entre as médias entre dois grupos. O nível de significância empregado neste estudo foi de 10%, e aplicar este nível de significância, representa-se ter 90% de confiança de que as conclusões serão corretas.

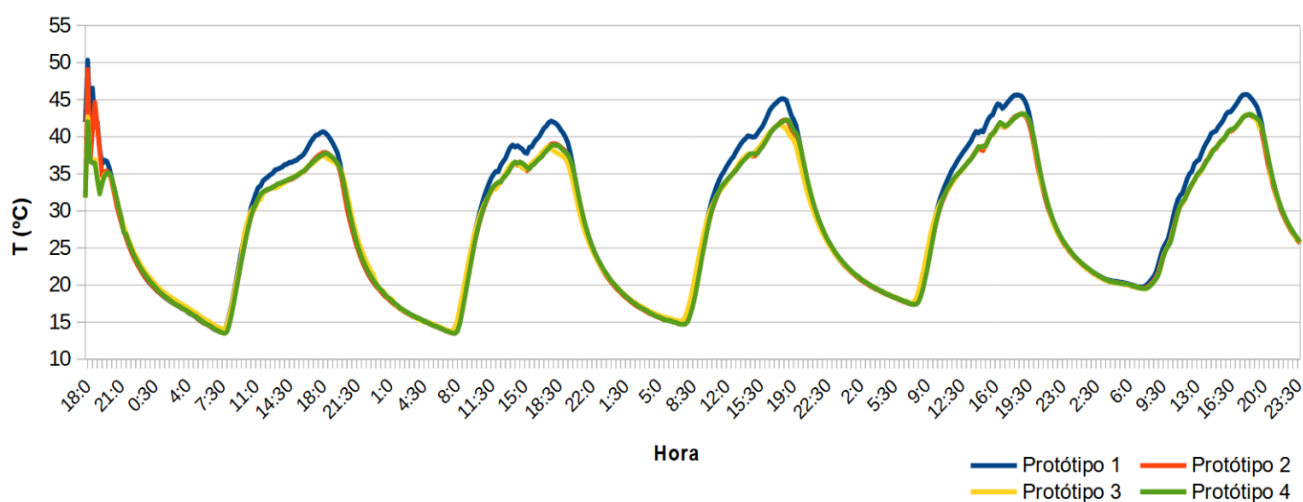
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção do trabalho serão expostos e analisados os dados aferidos e os resultados obtidos das leituras experimentais. O foco do estudo são os dados de temperatura, porém se faz necessário que os dados de umidade relativa também sejam apresentados, sendo possível complementar o estudo e avaliação das tintas empregadas quanto ao conforto térmico.

4.1 Dados aferidos

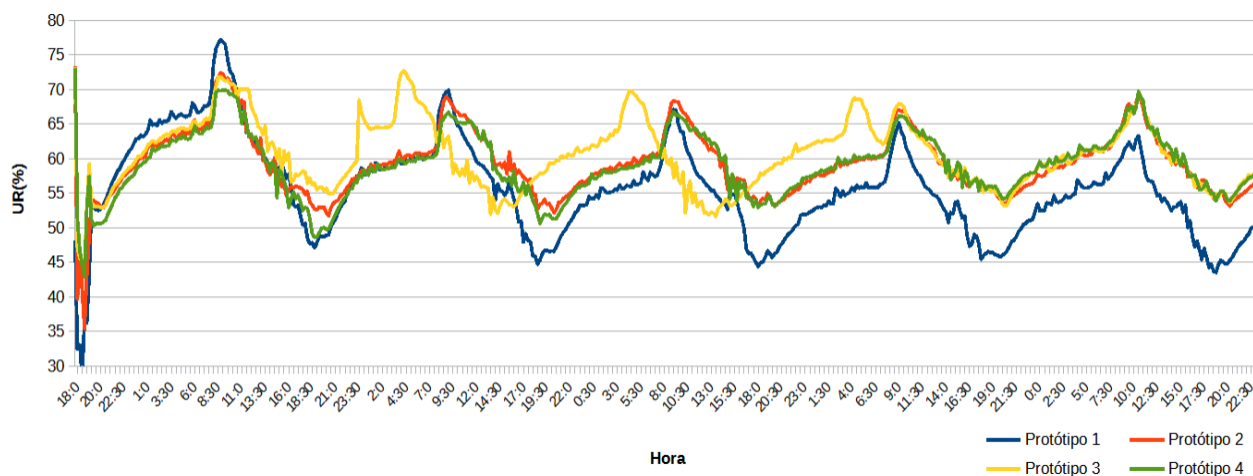
Os dados coletados representam as medições de temperatura e umidade relativa dos quatro protótipos, durante sete dias consecutivos, estes são a base para todas as análises para posteriores avaliações do estudo em questão. Inicialmente a série de dados de temperatura e umidade relativa foram estruturadas nos Gráficos 3 e 4, respectivamente, ao longo de todo o período de análise. Como se pode verificar, o comportamento da temperatura é similar nos dias de medição, exceto o intervalo correspondente às primeiras 5 horas, sendo este um período de adaptação dos dispositivos. Para o estudo estatístico, este período, e o período final da coleta de dados foram descartados, de modo a se obter resultados mais coesos para o estudo.

Gráfico 3 – Comportamento da temperatura durante o período de medição dos dados



Fonte: Autor (2022).

Gráfico 4 – Comportamento da umidade relativa durante o período de medição dos dados



Fonte: Autor (2022).

4.1.1 Análise das temperaturas

A seguir encontra-se a Tabela 5, abrangendo as temperaturas máximas e mínimas diárias obtidas de cada protótipo.

Tabela 5 – Temperaturas máximas e mínimas de cada protótipo nos dias de coleta

| Dias | Protótipo 1 | | Protótipo 2 | | Protótipo 3 | | Protótipo 4 | |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | T. máx. (°C) | T. mín. (°C) | T. máx. (°C) | T. mín. (°C) | T. máx. (°C) | T. mín. (°C) | T. máx. (°C) | T. mín. (°C) |
| Dia 1 | 40,69 | 13,69 | 37,9 | 13,54 | 37,44 | 14,03 | 37,79 | 13,49 |
| Dia 2 | 42,11 | 13,71 | 39,07 | 13,54 | 38,75 | 13,81 | 38,93 | 13,49 |
| Dia 3 | 45,12 | 14,94 | 42,26 | 14,81 | 41,7 | 15,14 | 42,26 | 14,70 |
| Dia 4 | 45,62 | 17,56 | 43,07 | 17,38 | 43,1 | 17,58 | 43,08 | 17,41 |
| Dia 5 | 45,70 | 19,74 | 42,95 | 19,59 | 43,02 | 19,49 | 43,05 | 19,53 |

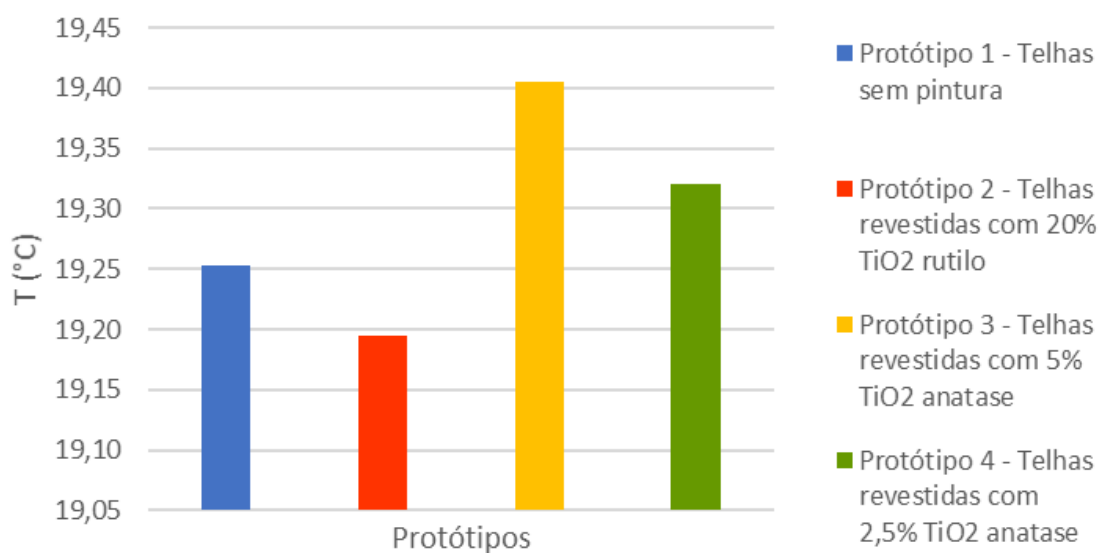
Fonte: Autor (2022).

Verifica-se que o protótipo que não recebeu nenhum tipo de tratamento (protótipo 1) apresentou as maiores médias máximas, já os demais protótipos, que receberam algum tipo de tratamento apresentam temperaturas médias máximas bem semelhantes.

De modo a se obter uma melhor visualização dos valores das temperaturas e seu comportamento para cada protótipo, dividiu-se as 24 horas de medições de cada dia em seis períodos de 4 horas (00h as 04h; 04h as 08h; 08h as 12h; 12h as 16h; 16h as 20h; 20h as 00h) e realizou-se as médias das temperaturas durante estas

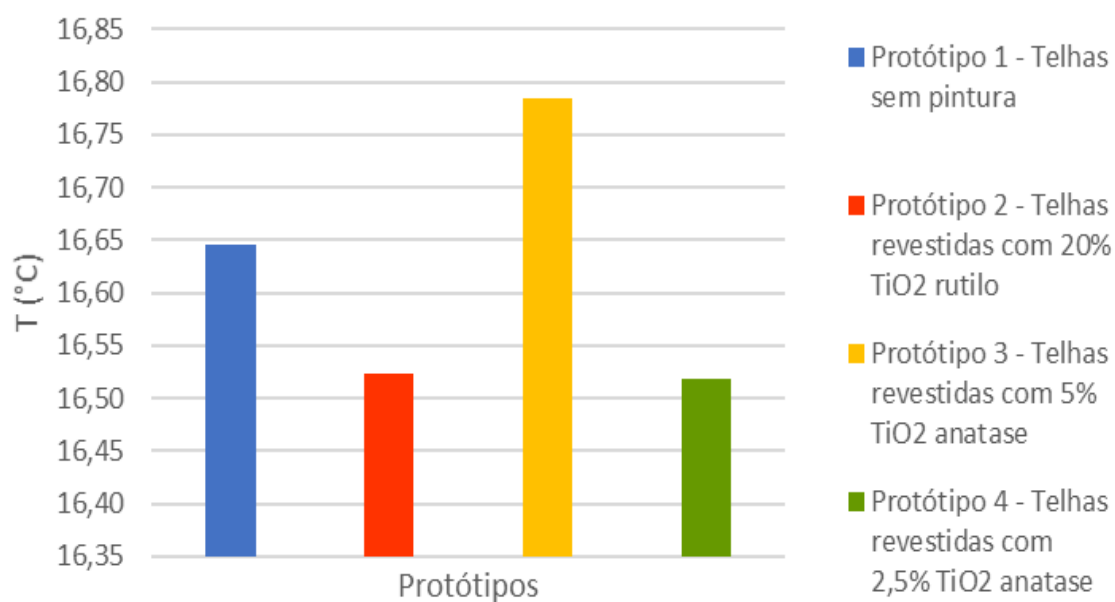
faixas de tempo dos cinco dias de leitura, conforme representado no gráficos abaixo (Gráficos 5 a 10).

Gráfico 5 – Média das temperaturas dispostas de 00h as 04h

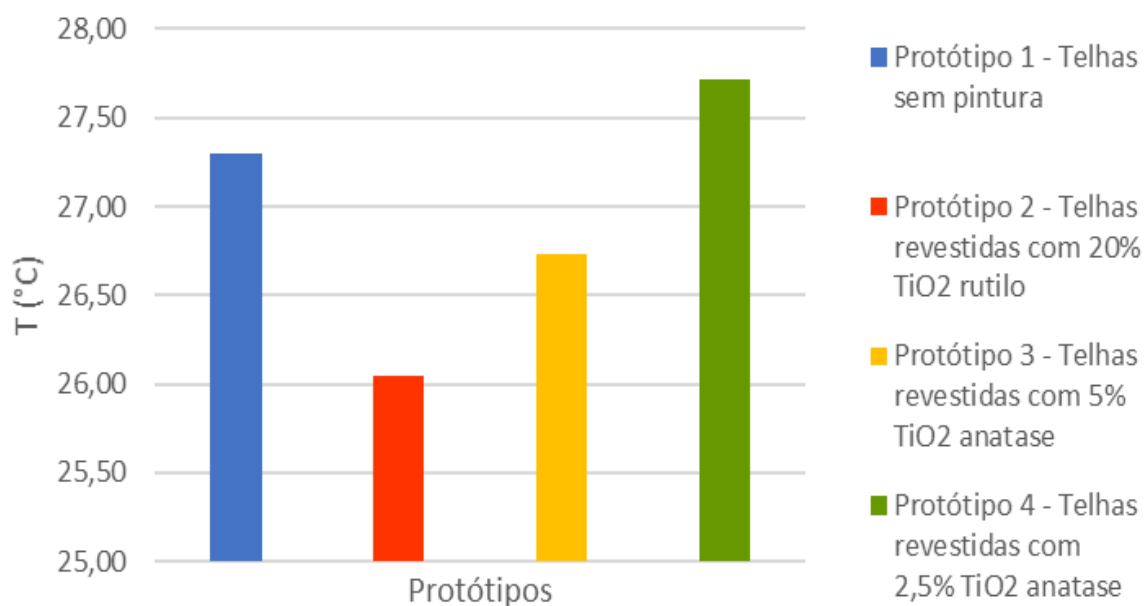


Fonte: Autor (2022).

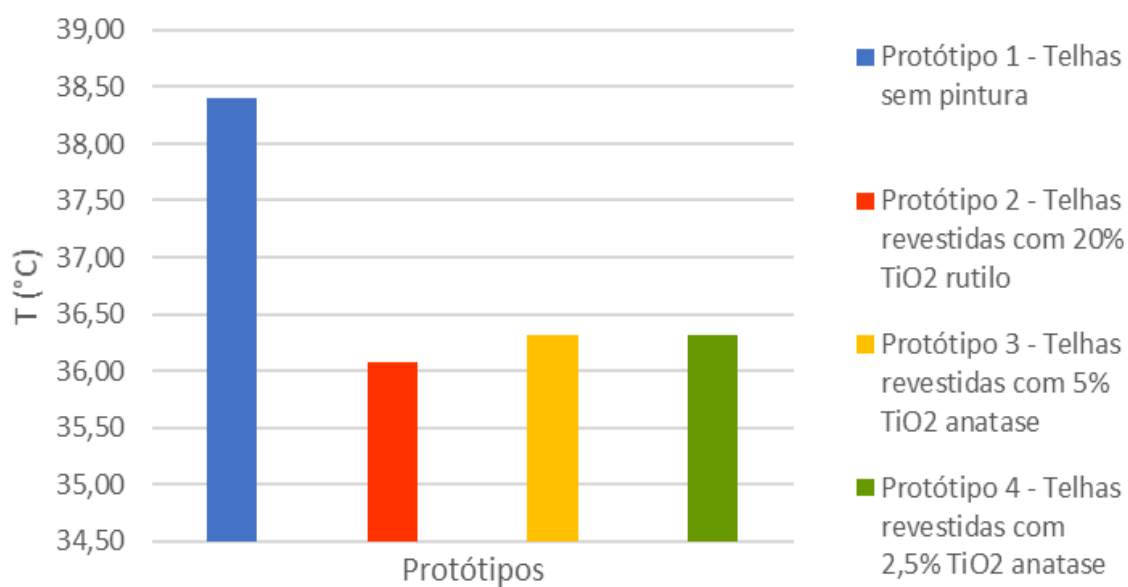
Gráfico 6 – Média das temperaturas dispostas de 04h as 08h



Fonte: Autor (2022).

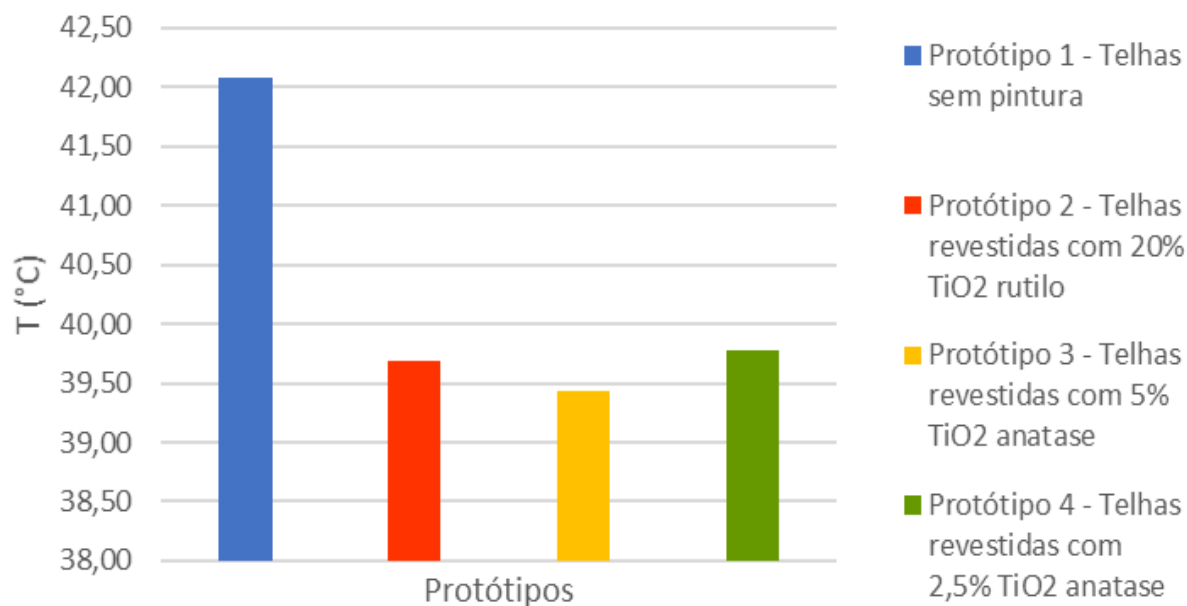
Gráfico 7 – Média das temperaturas dispostas de 08h as 12h

Fonte: Autor (2022).

Gráfico 8 – Média das temperaturas dispostas de 12h as 16h

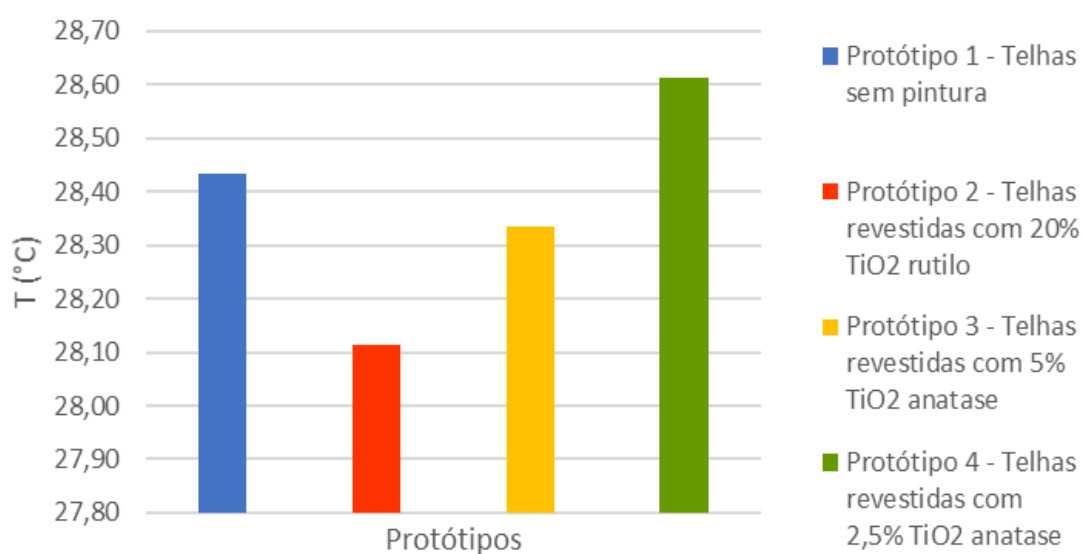
Fonte: Autor (2022).

Gráfico 9 – Média das temperaturas dispostas de 16h as 20h



Fonte: Autor (2022).

Gráfico 10 – Média das temperaturas dispostas de 20h as 00h



Fonte: Autor (2022).

Ao realizar o comparativo entre os quatro protótipos, verifica-se que nos períodos com temperaturas mais elevadas, compreendido entre as 12h às 20h, o protótipo 1, correspondido pelas telhas sem pintura, apresenta valores maiores de aproximadamente 38,4°C à 42,1°C, enquanto os protótipos 2, 3 e 4 que apresentam suas telhas revestidas com as tintas apresentam temperaturas de 36°C à 40,7°C,

percebendo assim uma considerável diferença pontual, apesar de não se verificar esta diferença entre os protótipos revestidos com as tintas. Estes valores se tornam bastantes evidentes pois neste período há grande incidência de raios solares.

Quanto a considerável semelhança das temperaturas internas entre os protótipos 2, 3 e 4, os quais receberam tratamentos com as tintas, pode ser explicada pela parte estrutural dos protótipo, uma vez que suas faces encontraram-se dispostas à radiação solar por longos períodos do dia, absorvendo, então, grande quantidade do calor incidido sobre suas superfícies, não sendo possível captar significativa diferença.

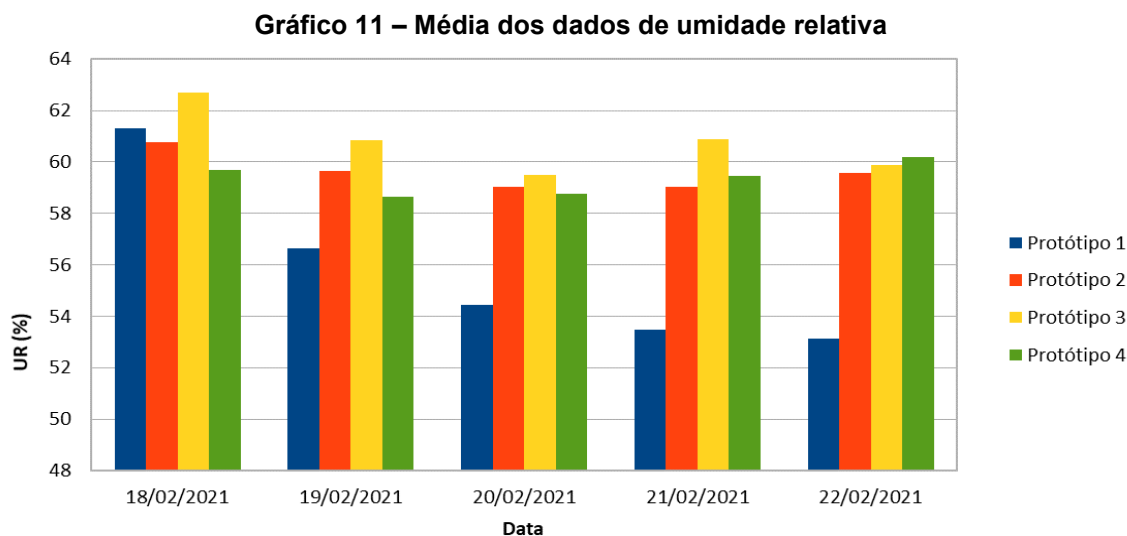
Durante os períodos compreendidos entre as 00h às 08h e entre as 20h às 24h, os valores das temperaturas se aproximam mais pois nestes períodos a troca de calor é maior entre os ambientes internos e externos, uma vez que não há a incidência de raios solares.

4.1.2 Análise das umidades relativas

Ao analisar os dados da umidade relativa não se pôde observar diferenças pontuais ao longo dos períodos do dia, como visto para a temperatura. De tal forma adotou-se a média das umidades diárias como forma de análise.

Pode-se verificar que a umidade relativa ambiente do protótipo 1 reduz ao longo dos dias de medições, já entre os outros protótipos verifica-se um comportamento semelhante ao longo dos dias. Uma justificativa ao comportamento da UR (%) do protótipo 1 é que como este apresentou maiores temperaturas, o nível de precipitação de partículas de água presentes no ar tende a reduzir ao longo dos dias por meio de sua evaporação devido ao calor do ambiente interno.

Já os demais protótipos, apesar de se detectar certa diferença na média de umidade relativa do ar nestes em cada dia entre eles, o comportamento é semelhante ao longo dos dias, conforme ilustrado no Gráfico 11.



Fonte: Autor (2022).

4.2 Análise estatística dos dados

Após realizada a análise exploratória dos dados coletados por meio dos gráficos já mencionados, fez-se uma análise estatística. Inicialmente aplicou-se testes de hipóteses aos dados amostrais, realizando, assim, testes de análise de variância e comparação de médias, proporcionando a avaliação dos resultados e determinando a significância da variação dos mesmos.

Inicialmente aplicou-se a ANOVA de único fator para avaliar os resultados obtidos com os tratamentos aos protótipos. Ao aplicar a análise da variância à série de dados, as hipóteses, nula e alternativa, foram estabelecidas. Sendo que ao aceitar a hipótese nula assume-se que a aplicação da tinta não produz efeito significativo sobre a temperatura, e ao aceitar a hipótese alternativa assume-se que a tinta produz efeito significativo sobre a incidência de luz solar interferindo na temperatura interna do protótipo e consequentemente no conforto térmico. Posto isto, tem-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 \\ H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ para, pelo menos, um par } (i; j), \text{ com } i \neq j \end{array} \right.$$

Onde:

H_0 = Hipótese nula;

H_1 = Hipótese alternativa;

μ_1 = Médias das temperaturas do protótipo 1;

μ_2 = Médias das temperaturas do protótipo 2;

μ_3 = Médias das temperaturas do protótipo 3;

μ_4 = Médias das temperaturas do protótipo 4;

Para o estudo estatístico utilizou-se o *software Rstudio*, aplicando a análise de variância (ANOVA) para os valores de temperatura e umidade relativa e teste T para amostras independentes das temperatura e umidade relativa ar.

4.2.1 Comparação das temperaturas

Por meio da organização dos valores das médias e desvio padrões das temperaturas de cada protótipo em tabelas (Tabela 6), a partir do *Software* de planilha eletrônica, procedeu-se a aplicação da anova para a comparação das médias das temperaturas em seis períodos do dia (00h as 04h; 04h as 08h; 08h as 12h; 12h as 16h; 16h as 20h; 20h as 00h), ao longo dos cinco dias de coletas de dados, com o auxílio do software R.

Tabela 6 – Médias e desvios padrões das temperaturas ao longo dos cinco dias de medições
(continua)

| Período | Protótipo 1 | | Protótipo 2 | | Protótipo 3 | | Protótipo 4 | |
|-----------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| 00h - 04h | 18,05 | 1,20 | 18,10 | 1,20 | 18,66 | 1,25 | 18,18 | 1,27 |
| | 17,07 | 1,17 | 17,02 | 9,68 | 17,15 | 1,30 | 17,15 | 1,24 |
| | 18,10 | 1,31 | 18,01 | 1,32 | 18,26 | 1,28 | 18,16 | 1,36 |
| | 20,96 | 1,22 | 20,87 | 1,22 | 20,98 | 1,20 | 21,01 | 1,27 |
| | 22,08 | 1,15 | 21,97 | 1,17 | 21,98 | 1,21 | 22,10 | 1,20 |
| 04h - 08h | 14,79 | 0,86 | 14,76 | 0,92 | 15,27 | 0,93 | 14,75 | 0,97 |
| | 14,48 | 0,58 | 14,36 | 0,61 | 14,58 | 0,53 | 14,36 | 0,65 |
| | 15,51 | 0,44 | 15,36 | 0,44 | 15,76 | 8,45 | 15,31 | 0,50 |
| | 18,28 | 0,46 | 18,14 | 0,59 | 18,36 | 0,57 | 18,17 | 0,61 |
| | 20,16 | 0,30 | 19,99 | 0,30 | 19,95 | 0,32 | 20,00 | 0,33 |
| 08h - 12h | 26,29 | 6,70 | 25,14 | 6,49 | 25,65 | 6,22 | 25,04 | 0,68 |
| | 26,83 | 6,88 | 25,51 | 6,61 | 26,47 | 5,91 | 25,45 | 6,82 |
| | 27,40 | 6,82 | 26,09 | 6,49 | 27,21 | 5,70 | 26,00 | 6,69 |
| | 29,01 | 6,07 | 27,73 | 5,80 | 28,71 | 5,08 | 27,72 | 6,01 |
| | 26,95 | 4,77 | 25,76 | 4,33 | 25,63 | 4,38 | 25,60 | 4,42 |
| 12h - 16h | 36,07 | 0,98 | 33,94 | 0,80 | 33,93 | 0,86 | 34,01 | 0,81 |
| | 37,78 | 1,99 | 35,41 | 1,00 | 36,39 | 1,54 | 36,48 | 1,65 |
| | 39,19 | 1,76 | 36,71 | 1,53 | 36,94 | 1,70 | 36,73 | 1,53 |
| | 40,15 | 2,14 | 37,74 | 1,87 | 37,79 | 1,88 | 37,80 | 1,87 |

| | | 38,84 | 2,70 | 36,55 | 8,85 | 36,53 | 2,45 | 36,55 | 2,43 |
|-------------|--|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| (conclusão) | | | | | | | | | |
| | | Protótipo 1 | | Protótipo 2 | | Protótipo 3 | | Protótipo 4 | |
| Período | | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão | Média | Desvio Padrão |
| 16h - 20h | | 38,99 | 1,61 | 36,66 | 1,09 | 36,47 | 0,69 | 36,67 | 0,89 |
| | | 40,36 | 1,91 | 37,85 | 1,08 | 37,30 | 1,23 | 37,77 | 0,94 |
| | | 42,79 | 2,44 | 40,43 | 1,74 | 39,79 | 2,01 | 40,65 | 1,48 |
| | | 44,24 | 1,50 | 41,84 | 1,03 | 41,92 | 0,87 | 41,99 | 0,86 |
| | | 44,02 | 1,54 | 41,62 | 1,13 | 41,71 | 1,02 | 41,81 | 1,01 |
| 20h - 00h | | 25,22 | 4,81 | 24,96 | 4,52 | 26,27 | 4,90 | 25,50 | 4,81 |
| | | 26,80 | 4,80 | 26,39 | 4,54 | 26,02 | 4,05 | 26,90 | 4,75 |
| | | 28,73 | 4,12 | 28,45 | 3,90 | 28,01 | 3,47 | 28,91 | 4,14 |
| | | 30,34 | 4,82 | 30,04 | 4,58 | 30,30 | 4,85 | 30,54 | 4,87 |
| | | 31,08 | 4,44 | 30,72 | 4,20 | 31,08 | 4,47 | 31,23 | 4,50 |

Fonte: Autor (2022).

A rotina de cálculo para a determinação da ANOVA por meio do *Software R* é retratada no Apêndice A. Os resultados, são apresentados a seguir (Tabelas 7 a 12),

Onde:

Tratamentos = tipo de tinta empregada a cada protótipo;

GL = graus de liberdade;

SQ = soma de quadrados;

MQ = média quadrática;

F crítico = valor qual expressa o quanto as médias dos tratamentos são distintas;

Valor P = probabilidade de diferença sob a hipótese nula.

Tabela 7 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no primeiro período

| Fonte da variação | GL | SQ | MQ | F crítico | Valor P |
|-------------------|----|-------|-------|-----------|---------|
| Entre tratamentos | 1 | 0.04 | 0.043 | 0.011 | 0.918 |
| Resíduos | 18 | 70.39 | 3.910 | | |

Fonte: Autor (2022).

Tabela 8 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no segundo período

| Fonte da variação | GL | SQ | MQ | F crítico | Valor P |
|-------------------|----|-------|-------|-----------|---------|
| Entre tratamentos | 1 | 0.00 | 0.004 | 0.001 | 0.979 |
| Resíduos | 18 | 93.21 | 5.178 | | |

Fonte: Autor (2022).

Tabela 9 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no terceiro período

| Fonte da variação | GL | SQ | MQ | F crítico | Valor P |
|-------------------|----|-------|-------|-----------|---------|
| Entre tratamentos | 1 | 0.95 | 0.953 | 0.239 | 0.631 |
| Resíduos | 18 | 71.83 | 3.991 | | |

Fonte: Autor (2022).

Tabela 10 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no quarto período

| Fonte da variação | GL | SQ | MQ | F crítico | Valor P |
|-------------------|----|-------|-------|-----------|---------|
| Entre tratamentos | 1 | 9.11 | 9.109 | 3.813 | 0.066 |
| Resíduos | 18 | 43.00 | 2.389 | | |

Fonte: Autor (2022).

Tabela 11 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no quinto período

| Fonte da variação | GL | SQ | MQ | F crítico | Valor P |
|-------------------|----|--------|--------|-----------|---------|
| Entre tratamentos | 1 | 12.74 | 12.742 | 2.266 | 0.15 |
| Resíduos | 18 | 101.22 | 5.623 | | |

Fonte: Autor (2022).

Tabela 12 – Resultado da ANOVA para a série de temperaturas no sexto período

| Fonte da variação | GL | SQ | MQ | F crítico | Valor P |
|-------------------|----|-------|-------|-----------|---------|
| Entre tratamentos | 1 | 0.15 | 0.147 | 0.029 | 0.867 |
| Resíduos | 18 | 92.20 | 5.122 | | |

Fonte: Autor (2022).

Para a análise de variância, adotou-se nível de significância de 10%. Tendo os diversos valores P obtidos, descritos na Tabela 13, pode-se concluir que o único período que houve uma diferença significativa entre os tratamentos dos protótipos foi o período das 12h às 16h, ou seja, a tinta aplicada a estes interferiu positivamente na temperatura interna dos protótipos durante este período. Isto torna-se de bastante relevância pois é o período do dia de maior taxa de incidência de raios solares, período qual ambientes internos tendem a ser mais quente.

Tabela 13 - Valores P resultantes da ANOVA para cada período do dia

| Período do dia | Valor P |
|----------------|---------|
| 00h - 04h | 0.918 |
| 04h - 08h | 0.979 |
| 08h - 12h | 0.631 |
| 12h - 16h | 0.066 |
| 16h - 20h | 0.15 |
| 20h - 00h | 0.867 |

Fonte: Autor (2022).

Acerca disto assumimos a hipótese alternativa (H_1) para o período das 12h às 16h uma vez que o Valor P obtido neste período foi de 0,066, valor menor ao nível de significância adotado de 0,10. Para os demais períodos assumimos a hipótese nula (H_0), a qual considera que a aplicação da tinta não produz efeito significativo sobre as temperaturas, uma vez que o Valor P obtido nestes períodos foi muito superior ao nível de significância adotado.

Por conseguinte, se faz necessário apresentar as análises dos resíduos de modo a verificar os pressupostos da ANOVA, sendo estes a independência, a normalidade e a homogeneidade dos resíduos.

Para o pressuposto de independência aplicou-se os dados do período em questão ao gráfico dos resíduos (Gráfico 12) e por meio deste verifica-se que os pontos estão dispersos aleatoriamente em torno de zero, conferindo assim a independência.



Fonte: Autor (2022).

Para o teste de normalidade, o teste de Shapiro-Wilk foi aplicado, averiguando o Valor P, tendo que este deve ser superior à 5%. Sendo assim, aceita-se a normalidade. Já para o pressuposto de homogeneidade das variâncias aplicou-se o teste de Bartlett, e pela mesma justificativa ao anterior, validou-se a homogeneidade

tendo que o Valor P foi superior a 5%. Tais resultados estão expostos no Apêndice B através da rotina de cálculo realizada no *software R*.

Cumprindo com os três requisitos, foi realizado o teste T de Student de modo a se determinar se houve diferença significativa entre as médias entre dois grupos. Para este teste comparou-se médias das temperaturas entre os protótipos 2 e 1, 2 e 3 e entre os protótipos 2 e 4. Optou-se por fazer esta escolha de comparações pois averiguou-se que, pontualmente, haveria uma considerável diferença dos dados obtidos ao par dos protótipos 1 e 2, e entre os demais, esta diferença não se apresentou de maneira tão notória quanto.

Conforme suspeitava-se, ao comparar os dados de temperatura entre os protótipos 2 e 1, por meio do teste t, obteve-se significância à 5%, certificando que a temperatura do protótipo 2, foi distinta e inferior entre o protótipo 1. Para os demais tratamentos, protótipos 3 e 4 não houve diferença significativa. A rotina de cálculo do teste t, realizada no *software R*, está apresentado no Apêndice C.

4.2.2 Comparação das umidades relativas do ar

Para os dados amostrais de umidade relativa, realizou-se o procedimento estatísticos analisando todos os valores coletados, sem realizar o cálculo das médias por períodos, como anteriormente para temperatura, uma vez que não se observou devida diferença pontual para tal. Iniciou-se os testes aplicando a ANOVA para a série de dados, cujo resultado é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultado da ANOVA para a série de umidades relativas

| Fonte da variação | GL | SQ | MQ | F crítico | Valor P |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|----------------|
| Entre tratamentos | 3 | 6619 | 2206.21 | 89.43 | 2.2e-16 |
| Resíduos | 1912 | 47169 | 24.67 | | |

Fonte: Autor (2022).

Do teste de hipóteses realizado, verifica-se que o valor P encontrado foi de $2,2 \times 10^{-16}$ sendo este bem menor ao nível de significância assumido. Com isto, rejeita-se a hipótese inicial H_0 e assume-se H_1 . Concluindo-se, assim, que ao menos uma das amostras difere-se das demais.

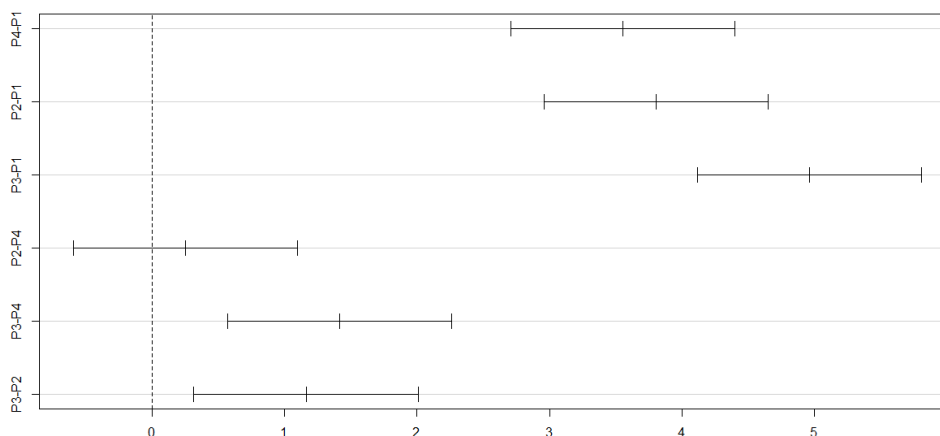
De maneira a se compreender qual das amostras são diferentes entre si, o teste de Tukey também foi aplicado à série de dados de umidade relativa. O valor-p obtido da comparação entre os protótipos é mostrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Valor-p teste de Tukey

| Pares de comparações | Valor-p |
|----------------------|-----------|
| P4 – P1 | 0.0000000 |
| P2 – P1 | 0.0000000 |
| P3 – P1 | 0.0000000 |
| P2 – P4 | 0.8704999 |
| P3 – P4 | 0.0001085 |
| P3 – P2 | 0.0024053 |

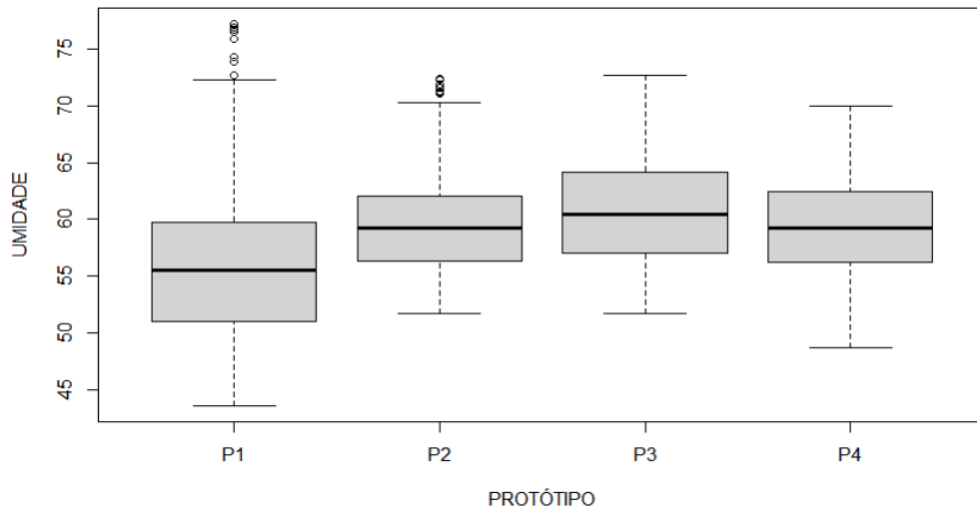
Fonte: Autor (2022).

Ao comparar os valores-p obtidos pelo teste de Tukey, ao valor de significância de 5%, verifica-se que apenas no par entre os protótipos 2 e 4 não há diferença significativa, já nos demais pares aceita-se a hipótese alternativa, a qual afirma que há diferença entre as médias. Ao plotar o gráfico referente aos dados obtidos neste teste é possível observar com mais clareza que apenas o par entre os protótipos 2 e 4 apresenta seu traço passando pelo zero, mostrando a não diferença significativa neste nível de confiança, conforme é apresentado no Gráfico 13.

Gráfico 13 – Resultado do teste de Tukey para a série de valores de umidades relativas

Fonte: Autor (2022)

Os dados também foram submetidos à visualização em forma de boxplot para melhor visualização, ilustrado no Gráfico 14.

Gráfico 14 – Boxplot para as umidades relativas

Fonte: Autor (2022).

Para os dados de umidade relativa verifica-se que as medianas se apresentaram mais distintas, porém a dispersão dos dados, representado pela diferença entre o terceiro e o primeiro quartil se assemelham entre todas as amostras. Verifica-se também possíveis valores discrepantes, representados pelos pontos acima das linhas de máximo nos protótipos 1 e 2, no Gráfico 14.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tintas produzidas com as diferentes morfologias do dióxido de titânio interferiram de maneira significativa no desempenho térmico das mesmas apenas durante o período das 12h às 16h. Esta informação torna-se de grande relevância, pois é o período de maior incidência de luz solar, e conseqüentemente maior taxa de calor interna dos ambientes.

Ao comparar os resultados por meio do *Software Rstudio* sobre os tratamentos em que as superfícies de cobertura dos protótipos foram submetidas, verificou-se diferenças significativas entre os tratamentos que receberam as tintas ao tratamento que não recebeu nenhum tipo de pintura.

E apesar das limitações deste trabalho, a proposta do projeto torna-se aceita, uma vez que a temperatura interna dos ambientes que receberam pintura do o dióxido de titânio em sua fase anatase foi significativa, assim como o protótipo que recebeu o tratamento com o dióxido de titânio em sua fase rutilo, num período de maior incidência de luz solar.

Ao se fazer uma análise pontual dos dados de temperatura entre os protótipos, verificou-se uma redução de temperatura de até dois graus centígrados entre os protótipos que receberam os tratamentos comparado ao que não recebeu nenhum tipo de tratamento, durante um período de praticamente 12 horas, ao longo do dia.

Como sugestões à trabalhos futuros, citam-se:

- Utilizar algum tipo de isolante térmico nas faces laterais do protótipo ou revesti-los em sua totalidade com as tintas de modo a verificar a influência disto quanto ao desempenho térmico do material empregado;
- Realizar o estudo averiguando o desempenho térmico utilizando apenas o dióxido de titânio em sua fase anatase, na composição das tintas empregadas;
- Avaliar, além do desempenho térmico, a atividade fotocatalítica das tintas com dióxido de titânio P25 em sua formulação;

REFERÊNCIAS

ÁGUIA, C., ÂNGELO, J., MADEIRA, L. M., MENDES, A. **Influence of photocatalytic paint components on the photoactivity of P25 towards NO abatement**. Catal. Today v. 151, p. 77-83, 2010

ALVES, R. Pesquisa inédita mapeia mudanças do clima no Paraná. Projeto Vulnerabilidade à Mudança do Clima. **Agência Fiocruz de notícias**. Fiocruz Minas, 2016. Disponível em: <https://agencia.fiocruz.br/pesquisa-inedita-mapeia-mudancas-do-clima-no-parana#:~:text=Na%20capital%20paranaense%20e%20regi%C3%A3o,que%20pode%20chegar%20at%C3%A9%2030%25>.

AMORIM S. M. **Desenvolvimento de tintas fotocatalíticas com estabilidade aumentada utilizando fotocatalisadores à base de microesferas de dióxido de titânio**. 2017. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

ARRUDA, L. M. **Preparação de nanotubos de dióxido de titânio funcionalizados com nitrogênio para degradação do corante alaranjado de metila**. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Ciências Físicas e Matemática. Curso de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9241-11**: Requisitos ergonômicos para o trabalho com dispositivos de interação visual, Parte 11: Orientações sobre usabilidade - apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12554**: Tintas para edificações não industriais - Terminologia. São Paulo, 2013.

ABRAFATI (Associação Brasileira Dos Fabricantes De Tintas). **Tintas e Vernizes**: Guia técnico ambiental tintas e vernizes série P+L. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo e Secretaria do Meio Ambiente. ABRAFATI, 2006.

AZEVEDO, N. M.; AGUIAR, J. L.; TORRALBA, F. P. Argamassas fotocatalíticas: influência da composição na resistência mecânica e na capacidade de auto-limpeza. *In*: **4º Congresso Português de Argamassas e ETICS**. Coimbra. Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Universidade do Minho, Escola de Engenharia. Coimbra, 2012.

BATTISTI, A. P. **Avaliação do efeito fotocatalítica do TiO₂ em tinta acrílica na degradação de tolueno**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

BIAS, E. de S.; BAPTISTA, G.M.de M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados landsat e ikonos. *In*: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Brasil, **Anais do XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, abril, 2003 INPE, p. 1741 – 1748. 2003.

BRANDÃO, F. D. **Identificação, quantificação e controle de defeitos em monocristais e nanopartículas de TiO₂**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CARVALHO, M. T. S. **Fatores que influenciam no conforto térmico no ambiente do trabalho: uma revisão sistemática**. 2018. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

CASTRO, A. P. A. S. **Análise de refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. 2002. 113 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

CONTIPELLI, E. **Política internacional climática: do consenso científico à governança global**. *Direito E Desenvolvimento*, 9(2), 82-94. 2018.

CHEPP, E. D.; GASPARIN, F. P. **Análise de medidas de eficiência térmica no consumo energético e conforto térmico de uma edificação**. *Revista Eletrônica Científica Da UERGS*, 2019. 5(3), 236-249.

ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem prática**, 4ª ed. Porto Alegre: Mc Grall-hill, 2012.

DISPEMAT (The Dispersion Process). Disponível em: dispermat.com/dispersers.html. Acesso em: 15 abr. 2022

DRESSLER, A.; PREUSS, N. L.; COSER, E.; FERREIRA C. A. Desempenho de tintas base de água formuladas com dióxido de titânio com diferentes morfologias na reflexão da radiação na região do infravermelho. **22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais**. Natal, RN, Brasil, Novembro de 2016

EPE (Empresa De Pesquisa Energética). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019: ano base 2018**. Rio de Janeiro, 2019

EPE (Empresa De Pesquisa Energética). **Uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética**. **Nota técnica EPE 030/2018**. Rio de Janeiro, 2018.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas: Ciência E Tecnologia**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2009.

FILHO, C. D. S. **Otimização de projetos de sistemas de climatização residenciais pela utilização de tintas termo reflexivas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia Mecânica) - Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, 2017.

Google Earth. Website. <http://earth.google.com/>, 2022

HANAOR, D. A. H.; SORRELL, C. C. **Review of the anatásio to rutile phase transformation**. Journal of Materials Science, 2011.

IAPAR (Instituto Agronômico do Paraná). **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, 2019.

IDR (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná). **Dados de temperatura e umidade relativa do ar do município de Francisco Beltrão, PR**. Francisco Beltrão, 2021.

INCROPERA, F. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2008.

IKEMATSU, P. **Estudo da refletância e sua influência no comportamento térmico de tintas refletivas e convencionais de cores correspondentes**. 2007, 134 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007

JORNAL NACIONAL. **Hidrelétrica de Itaipu registra a menor produção de energia dos últimos 26 anos**. São Paulo, 06 de maio de 2022. Disponível em: g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2022/01/04/hidreletrica-de-itaipu-registra-a-menor-producao-de-energia-dos-ultimos-26-anos.ghtml

KREITH, F. **Princípios de transferência de calor**. 7. Ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

LAMBERTS, R. **Conforto e Stress Térmico**. 83 p. Apostila do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

MARANHÃO, F. L. **Método para redução de mancha nas vedações externas de edifícios**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Doutorado em Engenharia. São Paulo, 2009.

MARTINS, R. C. **Estudo teórico da interação entre a bacterioclorofila-c (BChl-c) e estruturas de dióxido de titânio para aplicação em células solares sensibilizadas por corantes (DSSC)**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

MICHELOTTI, M. A. M. **Síntese, caracterização e potencial uso como agente antifúngico de nanopartículas de dióxido de titânio**. 2019. 36f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade do Sagrado Coração, Bauru, 2019.

MONTEIRO, R. A. R.; SILVA, A. M.T.; ÂNGELO, J. R. M.; SILVA, G. V.; MENDES, A. M.; BOAVENTURA, R. A. R.; VILAR, V. J. P. **Photocatalytic oxidation of gaseous perchloroethylene over TiO₂ based paint**. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v. 311, p.41-52, 2015.

PANNONI, F. D. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 4. ed. Rio de Janeiro, 2007.

PARAMÉS, J. R. R. **Nanotecnologias na Indústria da Construção**. Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2008.

POCKETT, J; BELUSKO, M. **A Review of Heat-reflective Paints**. In: **Annual Conference of the Australian Solar Energy Society (AuSES)**, 48., 2010, Canberra, Australia.

PREUSS, N. L. **Efeito dos aspectos morfológicos do timento tio₂ nas propriedades óticas de tintas base água**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Engenharias de Minas, Metalurgica e de Materiais. Porto Alegre, 2016.

SAMPAIO, C. P; TEREZO, R. F; PRADO, G; ZULPO, A. P. **Programa computacional para determinação de variáveis psicrométricas do ar úmido e os índices de conforto térmico**. *Energ. Agric., Botucatu*, vol. 33, n.2, p.142-147, abril-junho, 2018.

SILVA, P. H. A. **Uso de tintas como isolantes térmicos na construção civil**. Faculdade Pitágoras São Luís, São Luís, 2018.

SIMPSON, J. R. McPHERSON E. G. **Potencial energy saving ins building by na urban tree planting programme in Califórnia**. *Urban Forestry e Urban Greening*. Volume 2, Issue 2, 2003.

SPECHT, L. P.; BORGES P. A. P.; RUPP, R. F.; VARNIER, R. **Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais**. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 4, p. 7-18. Porto Alegre, 2010.

TEIXEIRA, D. C. F.; AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor: representações espaciais de cidades de pequeno porte por meio de modelagem**. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 239-256, 2017.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas**. Curitiba: ENCAC – COTEDI. nov. 2003.

YAMANAKA, H. T.; BARBOSA, F. S.; BETTIOL, N. L. S.; TAMDJIAN, R. M. M.; FAZENDA, J.; BONFIM, G.; FURLANETI, F.; SILVA, L. E. P.; MARTINS, J.; SICOLIN, A.; BEGER, R.. **Guia técnico ambiental tintas e vernizes**. 2006.

APÊNDICE A – Rotina de cálculo da ANOVA

```

separado <- read_excel("C:/Users/sheil/Dropbox/UTFPR/TCC/LUANA/temperatura_periodo4.xlsx",
                      +   sheet = "Planilha1")
attach(temperatura_periodo4)
names(temperatura_periodo4)
is.data.frame(temperatura_periodo4)

as.factor(PROTÓTIPO)
is.numeric(TEMPERATURA)

# Medidas descritivas e gráfico
summary(temperatura_periodo4)
tapply(TEMPERATURA,PROTÓTIPO, mean)
tapply(TEMPERATURA,PROTÓTIPO, sd)

boxplot(TEMPERATURA ~ PROTÓTIPO)|

# Teste para verificar a homogeneidade
bartlett.test(TEMPERATURA, PROTÓTIPO)

# ANOVA
anova.temperatura <- aov(TEMPERATURA ~ PROTÓTIPO, data = temperatura_periodo4)
summary(anova.temperatura)
plot(anova.temperatura$fitted.values,anova.temperatura$residuals, ylab="Resíduos", xlab="Valores ajustados")
shapiro.test(anova.temperatura$residuals)
bartlett.test(TEMPERATURA, PROTÓTIPO)

separado <- read_excel("C:/Users/sheil/Dropbox/UTFPR/TCC/LUANA/temperatura_periodo4.xlsx",
                      +   sheet = "Planilha2")

str(separado)
attach(separado)
boxplot(separado, ylab="Temperatura (°C)")
t.test(Prot_2,Prot_1,data=separado,var.equal=TRUE,paired =FALSE, mu = 0, alternative="less")
t.test(Prot_3,Prot_1,data=separado,var.equal=TRUE,paired =FALSE, mu = 0, alternative="less")
t.test(Prot_4,Prot_1,data=separado,var.equal=TRUE,paired =FALSE, mu = 0, alternative="less")

```

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE B – Teste de Shapiro-Wilk e Barlett

```

> bartlett.test(TEMPERATURA, PROTÓTIPO)

    Bartlett test of homogeneity of variances

data:  TEMPERATURA and PROTÓTIPO
Bartlett's K-squared = 0.049453, df = 3, p-value = 0.9971
> # ANOVA
> anova.temperatura <- aov(TEMPERATURA ~ PROTÓTIPO, data = temperatura_periodo4)
> summary(anova.temperatura)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
PROTÓTIPO    1   9.11   9.109    3.813  0.0666 .
Residuals   18 43.00   2.389
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> shapiro.test(anova.temperatura$residuals)

    Shapiro-Wilk normality test

data:  anova.temperatura$residuals
W = 0.95768, p-value = 0.4987
> bartlett.test(TEMPERATURA, PROTÓTIPO)

    Bartlett test of homogeneity of variances

data:  TEMPERATURA and PROTÓTIPO
Bartlett's K-squared = 0.049453, df = 3, p-value = 0.9971

```

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE C – Teste t de student

```
> t.test(Prot_2,Prot_1,data=separado,var.equal=TRUE,paired =FALSE, mu = 0, alternative="less")

Two Sample t-test

data: Prot_2 and Prot_1
t = -2.4551, df = 8, p-value = 0.01981
alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf -0.5668481
sample estimates:
mean of x mean of y
 36.06976  38.40647

> t.test(Prot_3,Prot_1,data=separado,var.equal=TRUE,paired =FALSE, mu = 0, alternative="less")

Two Sample t-test

data: Prot_3 and Prot_1
t = -2.2043, df = 8, p-value = 0.0293
alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf -0.3272668
sample estimates:
mean of x mean of y
 36.31414  38.40647

> t.test(Prot_4,Prot_1,data=separado,var.equal=TRUE,paired =FALSE, mu = 0, alternative="less")

Two Sample t-test

data: Prot_4 and Prot_1
t = -2.2388, df = 8, p-value = 0.02776
alternative hypothesis: true difference in means is less than 0
95 percent confidence interval:
 -Inf -0.3546534
sample estimates:
mean of x mean of y
 36.31291  38.40647
```

Fonte: Autor (2022).