



M 2018

DURABILIDADE DE ETICS COM ELEVADA ABSORÇÃO SOLAR

JOÃO TIAGO TEIXEIRA DE SÁ

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ÁREA CIENTÍFICA

DURABILIDADE DE ETICS COM ELEVADA ABSORÇÃO SOLAR

JOÃO TIAGO TEIXEIRA DE SÁ

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

JUNHO DE 2018

Aos meus Pais

“Eles não sabem, nem sonham, que o sonho comanda a vida”

António Gedeão

AGRADECIMENTOS

Uma palavra de agradecimento a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação de mestrado.

A todos os docentes do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil da mui nobre Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, por todos os conselhos e conhecimentos transmitidos, que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação académica e pessoal.

Ao meu orientador, Professor Nuno Manuel Monteiro Ramos, pelo profissionalismo, pela dedicação, pela disponibilidade, pela capacidade de aconselhamento nos momentos de contrariedades e por toda a ajuda que me deu ao longo deste semestre, pois sem ela não teria sido possível.

À empresa SAINT-GOBAIN WEBER PORTUGAL e ao seu fantástico grupo de colaboradores – de salientar o papel dos caríssimos Engenheiros Luís Silva, Eduardo Costa e Pedro Sequeira. Aqui, e com eles, o conhecimento, a simpatia e o interesse pelo trabalho foram transmitidos desde o primeiro contacto pessoal. Agradecer, também, pela disponibilidade e alegria de realizarem as medições nas amostras dos parâmetros $L^* a^* b^*$ em condições de elevada incidência solar e temperaturas altas.

À Engenheira Joana Maia, por todo o esforço físico e acompanhamento ativo, prestado na montagem de todo o material experimental. Nenhuma das medições teria sido possível sem a sua ajuda, simpatia, aconselhamento e, acima de tudo, total interesse demonstrado em todas as etapas.

Aos meus pais e irmão, por nunca deixarem de acreditar em mim e nas minhas capacidades, por estarem sempre presentes em todas as fases da minha vida, pela educação exemplar e por todo o conhecimento que me transmitiram durante todo este tempo. Sem vocês, este sonho não se materializaria.

À Filipa, minha namorada, um especial agradecimento por ter estado sempre do meu lado em todos os momentos, bons ou de maior adversidade. Os seus conselhos, a sua companhia, o seu apoio e o seu carinho e a sua paciência tornaram possível ultrapassar todos os obstáculos que foram aparecendo durante o meu percurso académico.

Ao Pereira, ao Moreira e ao Joca, que serão sempre os amigos de uma vida. A amizade, a alegria e as vivências experienciadas por todos definem-me como homem que sou hoje e tornaram-me sempre melhor pessoa do que era.

Por último, mas não menos importante, aos meus amigos que conheci na Faculdade, José Grande e João Oliveira, que tornaram o meu percurso académico inesquecível, com a alegria, a amizade e o companheirismo que partilharam sempre comigo. A Faculdade foi uma caminhada feita com eles sempre a meu lado.

RESUMO

As soluções de revestimento de fachadas do tipo reboco armado delgado sobre isolamento térmico, atualmente, são muito utilizadas por toda a Europa. O uso frequente destes sistemas deve-se às suas vantagens, como, por exemplo, redução dos gastos de energia e crescente respeito pelo ambiente, fácil aplicação em obra sem necessidade de realojamento, eliminação de pontes térmicas das fachadas e redução das condensações nas paredes interiores, sendo a vantagem principal a melhoria do conforto térmico interior nas diferentes estações do ano.

Este sistema, para além de trazer muitas vantagens, também tem alguns comportamentos que não são tão desejáveis como é o caso de aparecimento de bolores ou algas, que acabam por degradar o aspeto visual da fachada, a microfissuração, que, para além de degradar visivelmente, afeta também o desempenho térmico e mecânico do sistema. Nos primeiros anos de aplicação deste sistema em França, a microfissuração representou cerca de 25 % das anomalias ocorridas, onde o aumento das tensões superficiais devido à exposição da radiação solar configura um fator determinante para que esta anomalia se desenvolva com mais facilidade, causando o desagrado dos utilizadores.

Os sistemas que utilizam placas de EPS ou reboco térmico, como isolamento das fachadas pelo exterior, fazem parte destas soluções apresentadas e são essas que vão ser tratadas e analisadas detalhadamente ao longo desta dissertação. Procurou-se então aprofundar o efeito do envelhecimento e da durabilidade que era provocado nas amostras, dependendo das várias constituições que elas têm, sejam com ou sem primário e com ou sem pigmentos inorgânicos refletantes.

A revisão do estado da arte está dividida em duas partes. A primeira é destinada à descrição dos sistemas, à componente normativa e de durabilidade dos mesmos; a segunda parte é destinada a expor conhecimentos sobre os temas da refletância/absortância solar, variação da cor, da temperatura superficial e dos pigmentos refletantes, que se apresentam como a tecnologia responsável de diminuir a refletância das amostras.

A metodologia experimental apresenta, os diferentes sistemas que foram testados, ao longo das três campanhas de medições, e também o processo de medição da refletância/absortância solar e das temperaturas superficiais “*In Situ*”.

Depois do trabalho experimental ser realizado, a apresentação de resultados e conclusões divide-se em duas partes: a primeira referente às análises das variações, dos valores da refletância solar, da variação da cor (ΔE) e variação das temperaturas máximas atingidas, em cada amostra; a segunda onde se analisa os ciclos diários que as temperaturas apresentam, consoante o estado do céu, a influência de alguns parâmetros climáticos e a diferença entre a temperatura atingida e a calculada, segundo a metodologia simplificada da temperatura ar-sol.

De uma forma sucinta, esta investigação forneceu a confirmação de que o incremento dos pigmentos refletantes aos sistemas de isolamento térmico, com EPS ou reboco térmico, torna estes mais duráveis ao envelhecimento, pois as suas características mantêm-se mais com o passar do tempo.

PALAVRAS-CHAVE: ETICS, Coeficiente de Absorção Solar, Durabilidade, Temperatura Superficial, Variação de Cor.

ABSTRACT

Nowadays, External Thermal Insulation Composite Systems are very used all over Europe. The frequent use of these systems is due to its advantages, such as reduction of energy and increasing respect for the environment, easy application in construction without need of rehousing, elimination of thermal bridges of the façades and reduction of condensation on the internal walls, and the main advantage, improving indoor thermal comfort, in the Summer or Winter.

This system besides the many advantages, it also has some behaviors that are not so desirable, which is the case of the appearance of mold and seaweeds, that finishes up degrading the esthetic of the façade, microcracking, beyond visually degrading also affects the thermal and mechanical performance of the system. In the first years of application of this system in France, microcracking was represented about 25% of the anomalies occurred, where the increase of the surface tensions due to the solar radiation exposure, constitutes a determinant factor for this anomaly to easier development, causing the displeasure of users.

The systems that use EPS boards or thermal plaster, such as exterior insulation of the façades, are part of these solutions, and are the ones that will be treated and analyzed in detail throughout this dissertation. The effect of aging and durability on the samples was then investigated, depending on the various constitutions they have, with or without primer and with or without inorganic refracting pigments.

The state of the art review is divided into two parts, the first is proposed to describe the systems, the normative component and durability of them, the second part is proposed to expose knowledge about solar reflectance / absorptance, color variation, the surface temperature and the reflecting pigments, which are presented as the responsible technology for reducing the reflectance of the samples.

The experimental methodology presents the different systems that were tested during the three measurement campaigns, as well as the process of measuring the solar reflectance / absorptance and the surface temperatures "In Situ".

After the experimental work is done, the results and conclusions are separated into two parts, the first one discussing the analysis of the variations in, the values of the solar reflectance, the color variation (ΔE) and the variation of the maximum temperatures reached, in each sample. In the second part we analyze the daily cycles that the temperatures have, according to the state of sky, the influence of some climatic parameters and the difference between the temperature reached and the calculated, according to the simplified methodology of the air-sun temperature.

In a succinct way, this investigation provided a confirmation that the increase of the reflective pigments, to the thermal insulation systems, with EPS or thermal plaster, make them more durable to the aging, because their characteristics remain with time.

KEYWORDS: ETICS, Solar Absorptance, Durability, Surface Temperature, Color Variation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO.....	3
 2. ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTOS.....	 5
2.1. ETICS E REBOCOS TÉRMICOS.....	5
2.1.1. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS	5
2.1.2. VANTAGENS DO SISTEMA DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS PELO EXTERIOR	7
2.1.3. APLICAÇÃO DOS SISTEMAS.....	8
2.1.4. ENQUADRAMENTO NORMATIVO E HOMOLOGAÇÃO	10
2.1.5. DURABILIDADE DOS SISTEMAS	12
2.1.5.1. SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DEVIDO A SOLICITAÇÕES HIGROTÉRMICAS.....	13
2.2. ABSORÇÃO SOLAR	15
2.2.1. REFLETÂNCIA DAS SUPERFÍCIES OPACAS	15
2.2.2. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL	18
2.2.3. INFLUÊNCIA E PARÂMETROS DE MEDIÇÃO DA COR.....	19
2.2.4. TECNOLOGIAS DE REDUÇÃO.....	21
 3. METODOLOGIA	 25
3.1. SISTEMAS TESTADOS E RESPETIVOS MATERIAIS.....	25
3.1.1. AMOSTRAS USADAS AO LONGO DE 3 ANOS DE MEDIÇÕES	25
3.2. AVALIAÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR	28
3.2.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	28
3.2.2. INFRAESTRUTURA EXPERIMENTAL.....	30
3.2.3. TRATAMENTO DE DADOS	33
3.3. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL.....	34

3.3.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	34
3.3.2. INFRAESTRUTURA EXPERIMENTAL.....	35
3.3.3. TRATAMENTO DE DADOS	36
3.4. ENSAIO DE CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES.....	38
3.5. DISPOSIÇÃO DAS AMOSTRAS	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1. REFLETÂNCIA SOLAR.....	45
4.2. MEDIÇÕES DO CIELAB.....	48
4.3. MEDIÇÕES DA TEMPERATURA SUPERFICIAL	52
4.4. TIPIFICAÇÃO DE CICLOS DIÁRIOS DA TEMPERATURA SUPERFICIAL.....	62
4.5. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS NA TEMPERATURA SUPERFICIAL	67
4.6. ANÁLISE DA TEMPERATURA SUPERFICIAL MEDIDA “ <i>IN SITU</i> ” VS TEMPERATURA SUPERFICIAL CALCULADA.....	71
4.6.1. CAMPANHA I	72
4.6.2. CAMPANHA II	74
4.6.3. CAMPANHA III	79
4.6.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	82
4.7. DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS	83
5. CONCLUSÕES.....	87
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE CRÍTICA.....	87
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Principais Patologias apresentadas nos primeiros anos de aplicação do sistema ETICS em França (1979-1985), (APFAC, 2014)	1
Figura 2 - Constituição do sistema weber.therm classic (WEBER, 2018a)	6
Figura 3 - Constituição do sistema weber.therm aislone (WEBER, 2015)	7
Figura 4 - Equipamentos de medição da Temperatura Superficial.....	18
Figura 5 - Espaço de cor CIELAB, fonte (Weatherall e Coombs, 1992)	20
Figura 6 - Montagem do Piranómetro SR05 da Hukseflux "In Situ"	30
Figura 7 - Esquema do Piranómetro usado - 1. Cabo; 2. Conector; 3. Nível com bolha; 4. Sensor térmico com revestimento preto; 5. Vidro protetor; 6. Corpo do sensor; 7. Suporte para o tubo (opcional); 8. Parafuso de montagem do suporte (opcional); 9. Calço; 10. Nivelamento de esfera interior; 11. Parafuso de ajuste do nivelamento de esfera; 12. Abertura para o tubo (opcional) (Hukseflux, 2018)	31
Figura 8 - Esquema da mesa de suporte do piranómetro de medição da refletância solar (medidas em metros)	32
Figura 9 - Mesa de suporte do piranómetro de medição da refletância solar	32
Figura 10 - Datalogger Mikromec Multisens com os termopares do tipo T ligados	35
Figura 11 - Calibração dos Termopares na amostra EPS3	38
Figura 12 - 1ª Calibração dos termopares	39
Figura 13 - Gráfico do desvio padrão das medições dos termopares tipo T, do 1 ao 16, sem fator corretivo	41
Figura 14 - Gráfico do desvio padrão das medições dos termopares tipo T, do 1 ao 16, com fator corretivo igual a 2°C	41
Figura 15 - Gráfico do desvio padrão das medições dos termopares tipo T, do 1 ao 16, com fator corretivo igual a 3°C	41
Figura 16 - Calibração dos termopares com o Fator Corretivo	42
Figura 17 - Disposição das amostras sujeitas a medições "In Situ", tanto nos ensaios de refletância solar como de temperatura superficial	43
Figura 18 - Comparação dos valores de Refletância Solar das amostras envelhecidas	47
Figura 19 Variação da Cor (ΔE)	50
Figura 20 - Variação do parâmetro L	50
Figura 21 - Valores de Temperatura Superficial das amostras e Temperatura Ambiente, obtidos "In Situ", de dia 17 a 25 de Maio de 2018	53
Figura 22 - Valores de Temperatura Superficial das amostras e Temperatura Ambiente, obtidos "In Situ", de dia 19 a 22 de Maio de 2018	53

Figura 23 - Valores de Temperatura Superficial das amostras e Temperatura Ambiente, obtidos "In Situ", de dia 12 a 26 de Junho de 2018	54
Figura 24 - Gráfico de frequência acumulada referente ao indicador T_1 na primeira semana de medições	55
Figura 25 - Gráfico de frequência acumulada referente ao indicador T_1 na segunda semana de medições	55
Figura 26 - Análise da Ts do dia 27/05/2016	62
Figura 27 - Análise da Ts do dia 01/06/2016	62
Figura 28 - Análise da Ts do dia 08/06/2016	63
Figura 29 - Análise da Ts do dia 27/06/2016.....	63
Figura 30 - Análise da Ts do dia 30/06/2016	63
Figura 31 - Análise da Ts do dia 23/05/2017	64
Figura 32 - Análise da Ts do dia 04/06/2017	64
Figura 33 - Análise da Ts do dia 08/06/2017	64
Figura 34 - Análise da Ts do dia 04/07/2017	65
Figura 35 - Análise da Ts do dia 05/07/2017	65
Figura 36 - Gráfico Temperatura superficial máxima vs Temperatura exterior máxima (2016), por ordem crescente de valores da temperatura exterior máxima.....	67
Figura 37 - Gráfico Temperatura superficial máxima vs Radiação solar global máxima (2016), por ordem crescente de valores da radiação solar global máxima	69
Figura 38 - Gráfico Temperatura superficial máxima vs Temperatura exterior máxima (2017), por ordem crescente de valores da temperatura exterior máxima.....	70
Figura 39 - Gráfico Temperatura superficial máxima vs Radiação solar global máxima (2017), por ordem crescente de valores da radiação solar global máxima	71
Figura 40 – Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (Preto 3500 – Reboco Térmico)	72
Figura 41 – Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Preto 3500 – Reboco Térmico).....	72
Figura 42 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (Branco 0919)	73
Figura 43 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Branco 0919).....	73
Figura 44 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (EPS3)	74
Figura 45 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS3).....	74
Figura 46 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (EPS5)	75

Figura 47 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS5)	75
Figura 48 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (AS3).....	76
Figura 49 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (AS3)	76
Figura 50 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (AQ3)	77
Figura 51 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (AQ3).....	77
Figura 52 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (Branco)	78
Figura 53 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Branco)	78
Figura 54 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (EPS3)	79
Figura 55 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS3)	79
Figura 56 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (EPS6)	80
Figura 57 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS6)	80
Figura 58 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (Branco 0919)	81
Figura 59 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Branco 0919)	81

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos Essenciais do RPC	10
Quadro 2 - Requisitos Essenciais aplicados ao sistema ETICS (ETAG 004)	11
Quadro 3 - Valores indicativos do coeficiente de Absorção Solar (AFNOR, 2008)	14
Quadro 4 – Quadro síntese das normas ASTM de medição da Refletância Solar, adaptado de (Sá, 2017)	16
Quadro 5 – Tipos de Termopares e respetivos intervalos de Temperatura (Duff e Towey, 2010)	19
Quadro 6 – Comparação de valores de Absortância Solar (Carneiro, 2016; WEBER, 2018c)	20
Quadro 7 - Escala de perceção humana do ΔE	21
Quadro 8 – Quadro síntese de estudos realizados sobre as tecnologias de redução da Absorção Solar, adaptado de (Sá, 2017)	23
Quadro 9 – Constituição dos sistemas da Campanha I.....	26
Quadro 10 – Constituição dos sistemas da Campanha II.....	27
Quadro 11 - Constituição dos sistemas da Campanha III	28
Quadro 12 - Espicificações sobre o Piranómetro SR05 Hukseflux Thermal Sensors (Hukseflux, 2018)	31
Quadro 13 - Especificações dos termopares Tipo T (ASTM, 2012b)	35
Quadro 14 – Valores médios das temperaturas superficiais, medidos pelos termopares do tipo T, colocados na amostra EPS3.....	40
Quadro 15 – Quadro síntese das refletâncias solares das 3 campanhas e respetivas variações	46
Quadro 16 - Medições do $L^*a^*b^*$ durante as 3 campanhas.....	48
Quadro 17 - Valores do percentil 50% referentes ao indicador de comparação T_1	55
Quadro 18 – Temperaturas superficiais máximas atingidas e respetivas temperaturas exteriores	57
Quadro 19 - Diferenças máximas entre as temperaturas medidas “ <i>In Situ</i> ” e as calculadas.....	82
Quadro 20 - Coeficiente de determinação das amostras estudadas.....	83

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

h_e – Condutância Térmica Superficial Exterior [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

I – Irradiância Solar [W/m^2]

P – Precisão das Medições do Piranómetro [%]

t – Tempo [h, min ou s]

T – Temperatura [$^\circ C$]

T_e – Temperatura Exterior [$^\circ C$]

T_{se} – Temperatura Superficial Exterior [$^\circ C$]

R – Radiação Solar Global [W/m^2]

α – Absortância Solar

$\alpha_{Dilatação}$ – Coeficiente de Dilatação

α_s – Coeficiente de Absorção Solar

ρ – Refletância Solar

ΔE – Variação de Cor

ϵ – Extensão [mm/m]

ΔT – Variação da Temperatura [$^\circ C$]

ASTM – American Society for Testing and Materials

CICPs – Pigmentos Coloridos Inorgânicos Complexos

CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DEC - Departamento de Engenharia Civil

EOTA – European Organisation for Technical Approvals

EPS – Poliestireno Expandido

ER – Essential Requirements

ETAG – European Technical Approvals Guidelines

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

IR - Infravermelhos

LFC – Laboratório de Física das Construções

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RPC – Regulamento dos Produtos da Construção

TSR – Reflexão Solar Total

UV – Ultravioletas

VIS – Espectro Visível

XPS – Poliestireno Extrudido

Cool – “Cool Pigments”

RT – Reboco Térmico

T.ext. – Temperatura Exterior

T.máx. – Temperatura Máxima

T.calc. – Temperatura Calculada

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior das fachadas do tipo ETICS, apesar de representarem uma solução relativamente recente, já representam, em diversos países, uma solução bastante procurada e comercializada dentro do mercado de isolamentos térmicos de fachadas.

A elevada procura do sistema refletiu-se na crescente utilização do produto, sobretudo a partir dos anos 70 do século XX. Neste início de comercialização e aplicação do produto surgiram algumas patologias: por exemplo, em França, surgiram estudos, proporcionados pelas companhias de seguro, que verificaram que as principais patologias ocorridas nos sistemas ETICS eram as que estão presentes na Figura 1 (APFAC, 2014).

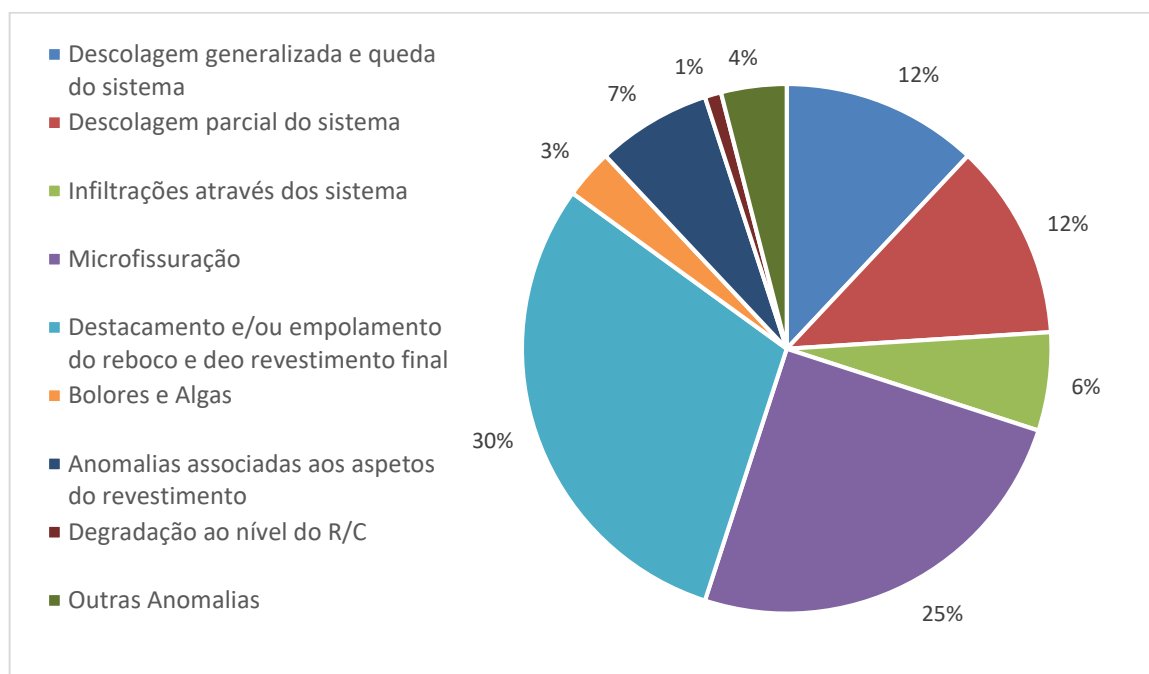


Figura 1 - Principais Patologias apresentadas nos primeiros anos de aplicação do sistema ETICS em França (1979-1985), (APFAC, 2014)

Em Portugal, estes sistemas só começaram a ter uma maior procura cerca de 20 anos mais tarde, muito devido ao clima português, que não tem variações tão agressivas de temperaturas ao longo do ano, e, ainda, devido ao facto de quando se começou a aplicar estes sistemas do tipo ETICS existirem muitas falhas/erros de aplicação, o que levou a que se obtivessem efeitos negativos com a inclusão deste sistema nas fachadas.

Nos anos 90, com a elaboração do regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), surgiu, então, uma maior preocupação com a eliminação das pontes térmicas, o que levou a uma troca de posicionamento do isolamento térmico: passou da caixa-de-ar para isolamento pelo exterior das fachadas. Este regulamento foi o primeiro instrumento legal que impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações, com o objetivo de melhorar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem que seja preciso gastos avultados em energia, tanto no período de temperaturas mais baixas como no de temperaturas mais altas.

O isolamento térmico pelo exterior das fachadas é um elemento construtivo que deve conferir um maior conforto a nível de proteção térmica, acústica e uma maior resiliência contra a penetração da água proveniente da chuva, contribuindo assim para uma crescente satisfação dos utilizadores.

Atualmente, dentro do grupo de sistemas do tipo ETICS, existem diversos materiais que são utilizados e comercializados como componente de isolamento térmico. Nesta dissertação serão estudados apenas dois: o sistema que tem como material isolante as placas de poliestireno expandido (EPS) e o sistema que usa o reboco térmico com a mesma finalidade.

Tendo como objetivo num grupo de amostras com diferentes valores de refletância solar e diferentes constituições, pretende-se avaliar aquelas que melhor comportamento têm face ao envelhecimento provocado pela exposição à radiação solar e ao ambiente exterior.

Para isso, é necessário seguir procedimentos experimentais que permitam retirar valores característicos das amostras, tais como a refletância/absortância solar, as temperaturas superficiais e dos parâmetros de medição de cor ($L^* a^* b^*$).

A partir destes valores característicos, surge a necessidade de analisar e conhecer o comportamento típico destas amostras face a diferentes estados climáticos (céu nublado ou céu limpo), face à influência que parâmetros climáticos como a radiação solar global e a temperatura exterior têm e face à diferença entre a temperatura medida “*In Situ*” e a temperatura calculada baseada na metodologia simplificada da temperatura ar-Sol.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo essencial deste trabalho de investigação consiste na avaliação da absortância solar e da temperatura superficial em sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior, com distintas cores de acabamento e distintas composições, relacionando esta avaliação com a durabilidade dos mesmos, possuindo dados de medições de 3 anos. Em seguida, serão apresentados os objetivos intermediários que proporcionam atingir o objetivo essencial:

- Elaborar uma compilação do estado atual do conhecimento sobre os sistemas de isolamento térmico pelo exterior das fachadas e tomar conhecimento dos procedimentos experimentais das medições da refletância/absortância solar e das temperaturas superficiais de cada uma das amostras disponibilizadas pelo trabalho realizado em anteriores investigações;
- Avaliar “*In Situ*” a refletância solar e a temperatura superficial das amostras com diferentes acabamentos superficiais;

- Elaborar conclusões sobre as relações entre absorção solar, solicitação térmica e durabilidade do ETICS, utilizando análises em que é possível realizar a tipificação de ciclos diários da temperatura superficial, da influência dos parâmetros climáticos e a análise da diferença entre a temperatura superficial medida e a calculada;
- Comparar os resultados e obter conclusões sobre a influência do primário, a influência dos pigmentos refletantes, tanto os “cool pigments” como o TiO₂, a influência do suporte e a influência do envelhecimento das amostras.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

Esta dissertação de mestrado está distribuída pelos seguintes capítulos:

- Capítulo 1 – Trata-se do capítulo que inclui a introdução e enquadramento do tema que se vai tratar ao longo do trabalho e onde se resume os seus objetivos;
- Capítulo 2 – Corresponde ao capítulo destinado ao resumo do estado da arte sobre o tema da resposta dos sistemas de isolamentos térmicos de fachadas quando expostos à radiação solar e temperatura exterior. Este capítulo é dividido em duas partes: a primeira consiste numa descrição geral dos sistemas estudados, tal como as suas vantagens, formas de correta aplicação, enquadramento normativo e durabilidade; na segunda parte, é abordado o tema focando-se no coeficiente de absorção solar e nas temperaturas superficiais das fachadas, incluindo também uma abordagem sobre as tecnologias de redução do coeficiente de absorção solar usando pigmentos inorgânicos e uma descrição de estudos realizados sobre as mesmas;
- Capítulo 3 – Neste capítulo descrevem-se os sistemas testados que acompanharam as 3 campanhas, tanto para a refletância solar como para a temperatura superficial. Descreve-se o procedimento experimental, as infraestruturas experimentais e os tratamentos de dados que foram realizados nas três campanhas. Por fim, é realizado, ainda, o ensaio de calibração dos termopares na presente campanha.
- Capítulo 4 - Este capítulo está reservado para a apresentação dos vários resultados, referentes às análises realizadas: à refletância solar medida “*In Situ*”; à medição da temperatura superficial também “*In Situ*”; à tipificação dos resultados obtidos nas campanhas anteriores, em ciclos diários da temperatura superficial; à influência que os parâmetros climáticos têm na temperatura das amostras; à diferença entre a temperatura superficial medida e calculada; à medição do parâmetro de medição de cor ($L^*a^*b^*$). No final de cada análise, é apresentada uma pequena discussão dos resultados obtidos e, no final do capítulo, realiza-se uma discussão relacionando todos os dados obtidos;
- Capítulo 5 – Neste capítulo são resumidas as principais conclusões desta investigação e é exposta uma perspetiva pessoal dos previsíveis desenvolvimentos futuros que relevam para o tema abordado na dissertação.

2

ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTOS

2.1. ETICS E REBOCOS TÉRMICOS

2.1.1. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS

O sistema de isolamento térmico pelo exterior das fachadas, designado também por *External Thermal Insulation Composite System*, (ETICS), consiste numa solução construtiva eficiente que permite um elevado desempenho térmico das fachadas dos edifícios (APFAC, 2015)

Este sistema surgiu, então, devido à criação de novos requisitos legais relativos à eficiência energética dos edifícios – um tema que está incluído no regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE) –, especialmente nas paredes de fachadas exteriores, devido à crescente preocupação do aspeto energético dos edifícios. Torna-se assim importante isolar termicamente a envolvente, de modo a minimizar ao máximo as trocas de calor que existem entre o exterior e o interior das habitações. A utilização deste sistema traz benefícios como a redução da necessidade de aquecimento/arrefecimento e diminuição acentuada do risco de condensações superficiais que existiriam nas habitações sem o uso desta solução construtiva (APFAC, 2015).

O sistema mais divulgado em Portugal usa placas de poliestireno expandido (EPS), fixadas sobre paredes de alvenaria e revestimento delgado de argamassa sintética, armado com rede de fibra de vidro, ou equivalente, com malha de 4 mm, acabado com massa plástica ou pintura, como demonstra a Figura 2.

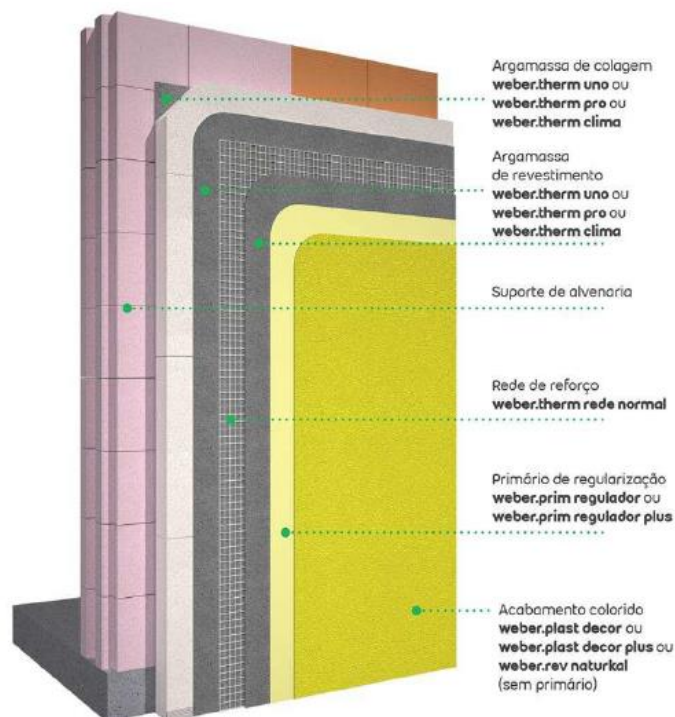


Figura 2 - Constituição do sistema weber.therm classic (WEBER, 2018a)

Atualmente, as marcas comercializam diversos tipos de sistemas de isolamento térmico pelo exterior das fachadas, fazendo variar o material que usam como isolamento térmico, como, por exemplo, placas de lã de vidro, placas de lã de rocha, placas de aglomerado de cortiça expandida, placas de poliestireno expandido (EPS) ou extrudido (XPS) e reboco térmico mecanicamente projetado (WEBER, 2018b).

Este sistema pode ser utilizado praticamente em todo o tipo de construção, nova ou antiga, industrial comercial ou residencial. Os constituintes deste sistema são: suporte admissível, argamassa de colagem, placas de EPS, argamassa de revestimento, rede de reforço entre camadas de argamassa de revestimento, primário de regularização e o acabamento à cor desejada (WEBER, 2018a).

Na seleção do sistema pretendido a utilizar, é necessário ter em conta:

- Tipo de suporte;
- Zona climática;
- Nível de conforto térmico pretendido;
- Nível de exposição da fachada;
- Tipo de acabamento;
- Exigências regulamentares relativos ao risco de incêndio;
- Condicionamentos arquitetónicos do edifício. (APFAC, 2015)

O outro sistema testado nesta dissertação, que utiliza o reboco térmico – um revestimento isolante térmico contínuo de base mineral cuja aplicação incide principalmente nas paredes de fachadas, novas ou a reabilitar – é adequado a paredes antigas que se encontram irregulares. Com a sua reabilitação, é-lhes proporcionado um melhor desempenho térmico e uma regularização da superfície destas (WEBER, 2018c).

A grande diferença entre os dois tipos de sistemas testados nesta dissertação está no material termicamente isolante que é utilizado. Enquanto no sistema da Figura 2 são utilizadas placas pré-fabricadas de poliestireno expandido (EPS), no sistema com Reboco Térmico é usado uma camada de argamassa termo isolante aplicada através de projeção mecânica diretamente no suporte. A espessura desta camada de argamassa de baixa condutibilidade térmica deve ser dimensionada e deve variar entre 30 e 80 mm. Os componentes que constituem o sistema da Figura 3 são: suporte admissível (alvenaria de bloco de agregados leves, alvenaria de tijolo cerâmico ou bloco de cimento, betão ou reboco de cimento), reboco isolante (aislone), argamassa de revestimento, rede de reforço entre camadas de argamassa de revestimento, primário de regularização e acabamento à cor pretendida.

Outra diferença entre os sistemas presentes na Figura 2 e na Figura 3 é o facto de o representado na segunda figura, por ser aplicado através da projeção mecânica diretamente no suporte, não necessitar do uso de argamassa de colagem.

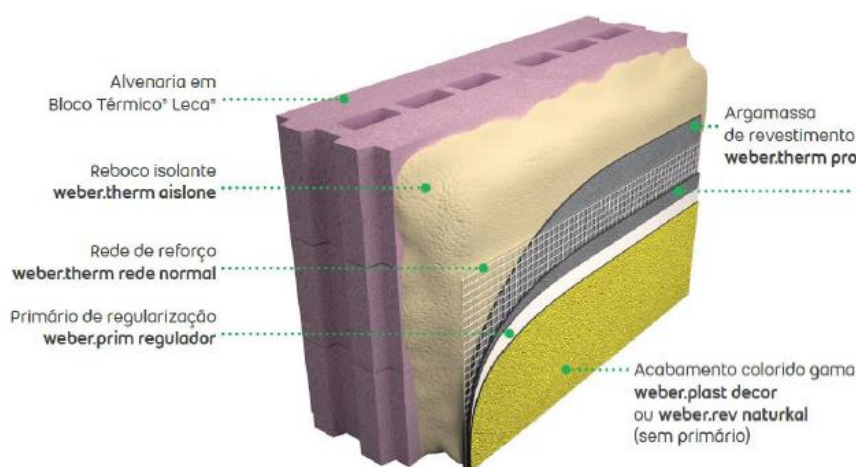


Figura 3 - Constituição do sistema weber.therm aislone (WEBER, 2015)

2.1.2. VANTAGENS DO SISTEMA DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS PELO EXTERIOR

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior com revestimento delgado armado exibem, quer em construção nova quer em reabilitação, vantagens em relação a outras soluções para revestimento de fachadas, particularmente nos aspetos que decorrem da sua ação isolante, da sua posição exterior e, ainda, pela proteção que oferecem contra a penetração da água da chuva (Silva, Torres e Abalada, 2009).

Segundo a APFAC (2015), algumas das vantagens da aplicação do sistema de isolamento térmico pelo exterior das fachadas são as seguintes:

- **Eliminação das pontes térmicas e redução do risco das condensações interiores.** A aplicação do sistema Etics é muito importante na resolução de anomalias nas habitações, como, por exemplo, em situações em que se acumulam nas paredes frias condensações de vapores de água que dão origem a patologias como bolores, causas de vários tipos de alergias respiratórias para os utilizadores, levando assim à degradação das paredes interiores dos edifícios;
- **Proteção das alvenarias e elementos estruturais.** O sistema Etics aumenta a durabilidade das alvenarias e dos elementos estruturais, pois providencia uma proteção destes elementos em relação às solicitações higrotérmicas a que os edifícios estão sujeitos no seu tempo de vida útil;

- **Melhoria do conforto térmico no inverno e no verão.** Para além da vantagem das pontes térmicas, esta é uma das vantagens mais conhecidas do sistema Etics, pois torna os edifícios muito mais eficientes a nível das trocas de calor, que existem entre o exterior e o interior, ou seja, no inverno, torna-se mais difícil a dissipação do calor do interior para o exterior e, no período do verão, previne a entrada de calor através das fachadas;
- **Economia de energia e respeito pelo ambiente.** Com a aplicação dos sistemas ETICS, os níveis estimados de poupança energética estão entre 30% a 50%. Esta poupança de energia é refletida na energia que é gasta no arrefecimento ou aquecimento dos edifícios, para além de que a utilização destes sistemas reduz a utilização destes equipamentos que contribuem para o aumento da pegada de carbono na atmosfera;
- **Reabilitação sem desalojamento.** A nível de montagem e aplicação dos sistemas ETICS, outra vantagem que lhe está associada é o facto de ser possível a execução de todos os trabalhos que este sistema necessita sem ser necessário o realojamento dos utilizadores do edifício, o que não afeta em nada a atividade normal destes;
- **Renovação estética.** A aplicação destes sistemas permite a renovação das fachadas com diferentes tipos de revestimentos finais, o que torna o edifício mais apelativo arquitetonicamente. Os revestimentos finais, normalmente, são realizados com um revestimento de base acrílica, colagem de revestimentos de pesos ligeiros ou de uma pintura com textura;
- **Reparação dos defeitos.** A aplicação deste sistema é ideal para corrigir e cobrir anomalias das fachadas, como é o caso de pequenas fissuras, manchas e irregularidades.

Este sistema exige um trabalho a nível de pormenores muito detalhado e trata-se, portanto, de um sistema de construção muito sensível a erros de aplicação. As suas limitações e defeitos mais frequentes são a vulnerabilidade mecânica em zonas acessíveis, arrancamento em fachadas altas com ventos fortes, fissuração entre placas por erro de aplicação da armadura, devido à falta de sobreposição ou deficiente colmatação de vazios entre placas, e vulnerabilidade à ação da água quando aplicado em superfície horizontal no exterior, onde a água permaneça durante algum tempo (Silva, Torres e Abalada, 2009).

2.1.3. APLICAÇÃO DOS SISTEMAS

Para uma correta aplicação deste sistema deve ter-se em conta certas condicionalidades do suporte e do local que vai receber o produto. Referente ao local de aplicação: não aplicar o sistema em fachadas com inclinação inferior a 45°C; não aplicar as argamassas com temperaturas atmosféricas inferiores a 5°C nem superiores a 30°C; evitar a aplicação de materiais em situações de ventos fortes; não aplicar os materiais em sítios que podem apanhar chuva enquanto não for cumprido o seu período de secagem; evitar a aplicação dos materiais sob a incidência direta dos raios solares e não iniciar a aplicação do sistema sobre suportes executados há menos de um mês – isto é aplicável a suportes de alvenarias, betão ou até reboco, para que se encontrem em condições de estabilidade e secagem adequados (WEBER, 2018b).

Para que o sistema ETICS consiga garantir questões como a durabilidade, o conforto ambiental e os resultados esperados do ponto de vista da poupança energética, é preciso existir uma escolha rigorosa não só das placas isolantes disponíveis no mercado, mas também dos materiais destinados à preparação do suporte, colagem, barramento e acabamentos que conferem à fachada o aspeto estético desejado (APFAC, 2015).

Os seguintes parágrafos baseiam-se na referência WEBER (2018b).

Na avaliação e preparação do suporte de obras novas, os sistemas ETICS podem ser aplicados sobre suportes novos (alvenarias, betão ou reboco e placas de madeira) e, no caso das obras de reabilitação urbana, a suportes já existentes (cerâmico ou pintura). Os suportes em alvenaria ou betão deverão exibir uma superfície plana, sem irregularidades e defeitos de planimetria superiores a 1 cm, quando controlados com uma régua de 2 m de comprimento. Se não se cumprir esta condição, o aplicador deverá então aplicar um reboco de resistência adequada, para garantir a regularização da superfície. Os suportes deverão ser normalmente absorventes, consistentes e isentos de poeiras ou óleos descofrantes. Suportes em betão degradado deverão ser reparados, incluindo o tratamento de armaduras se necessário. Deve, igualmente, reparar-se as zonas fissuradas sempre que as fissuras apresentem aberturas superiores a 0,5 mm.

Relativamente às obras de reabilitação, os suportes que não ofereçam condições devem ser removidos e reparados os que tiverem zonas danificadas. Devem ser eliminados todos os materiais depositados na superfície de suporte do sistema (sujeidade, fungos, microrganismos), realizando uma limpeza com agentes adequados e água com pressão.

A nível da aplicação das placas de poliestireno expandido (EPS), usam-se argamassas de colagem devidamente especificadas, quer seja para obras novas ou de reabilitação. Para a aplicação das argamassas de colagem nas placas isolantes, deve aplicar-se a argamassa à volta do perímetro da placa com 3 a 4 cm, acrescentando 2 pontos no centro da mesma. As placas devem ser aplicadas em fiadas, de baixo para cima das fachadas, e sempre contrafiadas com a anterior. Deve, também, exercer-se uma força contra o suporte, de modo a pressionar a argamassa de colagem para uma melhor aderência. Tanto a verticalidade como a planimetria das placas devem sempre verificar-se com o auxílio do nível de bolha e a régua de 2 m.

O revestimento das placas isolantes realiza-se com pelo menos duas camadas de argamassa de revestimento, integrando uma armadura em rede de fibra de vidro, no meio das camadas. A argamassa de revestimento é diretamente aplicada nas placas isolantes com recurso a talocha metálica. De referir que cada etapa só é exequível quando estão assegurados os parâmetros de estabilidade e de secagem das argamassas anteriores. Na primeira camada é necessário garantir pelo menos uma espessura de 2 mm. Depois, estica-se a rede sobre a argamassa ainda fresca – a sobreposição mínima da rede deve respeitar cerca de 10 cm. A segunda camada a ser aplicada deverá garantir o recobrimento da armadura de rede na totalidade e resultar numa superfície lisa. Por fim, os revestimentos finais devem contribuir para a impermeabilidade, proteção e resultado estético desejado.

A nível de aplicação do outro tipo de sistema testado, com o reboco térmico (aislone), na preparação do suporte exige-se que os suportes sejam planos, estáveis e consistentes. Posteriormente, deve ser aplicado preferencialmente através da projeção mecânica contínua, evitando assim erros humanos, respeitando uma quantidade de água de 5,5 a 6 litros por saco, para obter a consistência pretendida.

Para a segunda camada, deve aplicar-se uma rede de fibra de vidro com malha de 10x10 mm sobre a superfície da primeira camada e, após endurecimento (cerca de pelo menos 12 horas), aplicar buchas de fixação sobre a rede, obtendo uma malha quadrada com espaçamento de 50 cm aproximadamente e, então, depois, aplicar a segunda camada de argamassa de revestimento.

Por fim, deve alisa-se e compactar a superfície com o auxílio de uma régua metálica, deixar endurecer um pouco e sarrafar para alinhar à espessura pretendida. É preciso deixar secar o produto pelo menos um dia por cada centímetro de espessura de aplicação, antes de se proceder ao revestimento do sistema, que deve contribuir para os efeitos mencionados anteriormente (WEBER, 2018c).

2.1.4. ENQUADRAMENTO NORMATIVO E HOMOLOGAÇÃO

Em resposta aos problemas que existiam na comercialização do produtos e materiais de construção em território europeu, devido às diferenças que se verificavam, entre as normas nacionais, aprovações técnicas e outras especificações e disposições técnicas de diversos Estados-membros, surgiu a necessidade de se criar a Diretiva dos Produtos de Construção 89/106/CEE, que, posteriormente, foi substituída pelo RPC, Regulamento dos Produtos da Construção (Europeias, 1988; Europeias, 2011).

Em conformidade com este documento, em território que pertença União Europeia, os produtos só podem “ser comercializados se estiverem aptos para a função a que se destinam, ou seja, se apresentarem características tais que as obras em que sejam incorporados, montados, aplicados ou instalados, se tiverem sido convenientemente planeadas e realizadas, possam satisfazer os requisitos essenciais”.

Os requisitos essenciais à homologação europeia dos materiais em geral, segundo o RPC, são os seguintes:

Quadro 1 - Requisitos Essenciais do RPC

Requisitos	Descrição
ER1	<u>Resistência mecânica e estabilidade</u> Na conceção e construção de uma obra, as cargas que surgem da construção e utilização não podem causar: a) O desabamento total ou parcial da obra; b) Grandes deformações que não sejam admissíveis; c) Danos em partes, instalações ou em equipamentos instalados em obra, referentes a deformações da estrutura de suporte; d) Danos desproporcionados ao facto que teve a sua origem.
ER2	<u>Segurança contra incêndios</u> A conceção de uma obra deve ser feita, de modo a que em caso de incêndio: a) A capacidade de estruturas de suporte seja garantida durante um determinado período de tempo; b) A propagação e expansão do fumo seja limitada, dentro da obra; c) A propagação do fogo a obras vizinhas seja limitada; d) Os ocupantes tenham a possibilidade de abandonar a obra; e) A segurança das equipas de socorro esteja assegurada.
ER3	<u>Higiene, saúde e ambiente</u> A conceção de uma obra não pode causar danos na higiene e saúde dos ocupantes ou vizinhos, em consequência de: a) Libertação de gases tóxicos; b) Presença de partículas ou gases perigosos no ar; c) Emissão de radiações perigosas; d) Poluição ou contaminação da água ou do solo; e) Evacuação defeituosa das águas residuais, fumo e dos desperdícios sólidos ou líquidos; f) Presença de humidade em partes da obra.
ER4	<u>Segurança na utilização</u> A conceção da obra deve ser realizada de modo a que não haja riscos inaceitáveis de acidentes durante o período de utilização, como por exemplo: riscos de escorregamento, desabamento, queda, queimadura, eletrocussão e quaisquer danos provocados por explosão.
ER5	<u>Proteção contra o ruído</u>

	A conceção da obra deve ser realizada de modo a que o ruído captado pelas pessoas não atinja um nível que prejudique a saúde e lhes permita descansar em condições normais e satisfatórias.
ER6	<u>Economia de energia e retenção de calor</u> A conceção da obra e instalações de aquecimento, arrefecimento e ventilação deve ser realizada de modo a que a quantidade de energia necessária para a sua utilização seja baixa, tendo em conta as condições climáticas do local e os ocupantes.

No entanto, existem requisitos essenciais e exigências que é preciso ter em conta na conceção dos projetos de isolamento térmico pelo exterior das fachadas.

As diretrizes de aprovação técnica europeia de um ou vários produtos pertencentes à mesma família (ETAG), definem as imposições a que os mesmos devem cumprir, os processos de ensaio e os parâmetros de avaliação necessários à avaliação do desempenho em função da utilização prevista e das condições previsíveis de conceção e execução.

A organização europeia responsável para as aprovações técnicas dos produtos e elaboração de documentos como a ETAG, *European Technical Approvals Guidelines*, é a EOTA, *European Organisation for Technical Approvals*.

Relativamente ao documento da ETAG 004, apresentam-se de seguida as abordagens dos requisitos essenciais para a conceção de um sistema de isolamento térmico pelo exterior das fachadas (EOTA, 2013).

Quadro 2 - Requisitos Essenciais aplicados ao sistema ETICS (ETAG 004)

Requisitos	Descrição
ER1	<u>Resistência mecânica e estabilidade</u> Requisitos relativos à resistência mecânica e estabilidade dos elementos construtivos sem cargas dos trabalhos, incluem-se no requisito de Segurança na utilização (ER4).
ER2	<u>Segurança contra incêndios</u> As exigências de reação ao fogo do sistema ETICS devem estar de acordo com as leis, regulamentos e disposições administrativas aplicáveis ao edifício. A norma EN 13501-1 irá classificar os materiais constituintes do sistema em relação ao seu comportamento de reação ao fogo.
ER3	<u>Higiene, saúde e ambiente</u> Ambiente Interior: O desempenho do sistema ETICS torna-se decisivo em resistir à humidade oriunda do exterior e a necessidade de impedir que ocorram condensações internas e superficiais. Deve também resistir e evitar que a humidade proveniente do solo e da precipitação se penetre e propague nos elementos construtivos levando assim à sua degradação. O sistema deverá manter as suas características depois de ter sido sujeito aos eventuais choques provocados pela circulação e circulação normal. Algumas das características que serão avaliadas no sistema ou nos seus componentes são: absorção e permeabilidade à água, resistência aos choques, permeabilidade ao vapor de água e características térmicas (que estarão presentes no requisito ER6). Ambiente exterior: A construção do sistema não poderá ser uma fonte de poluição do ambiente, as taxas de despejo de produtos poluentes para o ar exterior, solo ou água tem de obedecer à legislação, regulamentação ou disposições administrativas aplicáveis ao respetivo local.
ER4	<u>Segurança na utilização</u> Apesar de o ETICS não ter uma função estrutural, a resistência mecânica e a estabilidade ainda são necessárias. O sistema ETICS deve ser estável em resposta às combinações das solicitações resultantes das cargas normais tais como: peso próprio,

	temperatura, humidade, retração, movimentos da estrutura do edifício e ação do vento, em forma de sucção. Isto significa então que, para o requisito mínimo ER4, as seguintes características do produto em questão, que devem ser avaliadas são: 1. Efeito do peso próprio, o sistema deve-se apoiar sem deformações prejudiciais; 2. Movimentos da estrutura do edifício, não pode dar origem a qualquer tipo de fissuração ou perda de adesão no sistema ETICS; 3. Temperatura, o ETICS deve suportar movimentos devido à temperatura e alongamentos, exceto nas juntas estruturais, onde se devem tomar precauções especiais; 4. Efeito de sucção do vento, o ETICS deve apresentar um fator de segurança suficiente, uma resistência mecânica adequada às forças de pressão, sucção e vibração devido às ações do vento.
ER5	<u>Proteção contra o ruído</u> As exigências no que toca a proteção do ruído não são consideradas, uma vez que como o sistema ETICS pode ter um efeito positivo ou negativo no isolamento acústico de uma parede que está instalado, o desempenho do mesmo deve ser conhecido com o objetivo de determinar o isolamento do ruído na parede no seu todo (suporte, janelas e outras aberturas).
ER6	<u>Economia de energia e retenção de calor</u> O sistema ETICS melhora o isolamento térmico e permite uma redução significativa do aquecimento, no inverno, e arrefecimento no verão. A resistência térmica dos sistemas ETICS deverá ser avaliada, para que possa ser introduzida no cálculo térmico exigido pela regulamentação nacional. Fixações mecânicas podem causar diferenças localizadas na temperatura. A sua influência deve ser desprezada para que a resistência térmica do sistema não seja afetada.

2.1.5. DURABILIDADE DOS SISTEMAS

Depois de analisar os requisitos essenciais que estão presentes no documento da ETAG 004, torna-se relevante abordar o tema da durabilidade e aptidão à utilização dos sistemas de isolamento pelo exterior das fachadas. A definição do termo de durabilidade de um produto ou sistema remete para um período de tempo de utilização e manutenção, ao qual as condições e características iniciais de *performance* não se alteram.

Todos os requisitos essenciais referidos no Quadro 2 devem ser cumpridos pelos sistemas de ETICS, em resposta às solicitações a que estes estão normalmente sujeitos durante o seu período de vida, sempre existindo uma componente de manutenção adequada cupulada à utilização. É importante referir que o suporte poderá influenciar a durabilidade do sistema.

Segundo a EOTA (2013), a análise da exigência da durabilidade dos sistemas pode ser dividida em duas abordagens: a durabilidade do sistema ETICS e a durabilidade dos seus componentes.

No que à durabilidade do sistema ETICS diz respeito, é importante referir que:

- Os sistemas ETICS deverão ser estáveis e resistir às solicitações através da temperatura, humidade ou alongamentos e retrações;
- Nem as altas nem as baixas temperaturas deverão exercer um efeito destrutivo ou irreversivelmente deformante no sistema;

- As baixas temperaturas do ar, na ordem dos -20 °C, e as elevadas, na ordem dos +50 °C, são geralmente considerados como extremos de variação da temperatura do ar. Nos países do norte da Europa, no entanto, as temperaturas mínimas do ar podem atingir o pico de -40 °C;
- A radiação solar incidente aumenta as temperaturas superficiais dos ETICS quando expostos. O aumento depende do fluxo de radiação e da absorção de energia da superfície, ou seja, depende da cor desta. O valor que usualmente é considerado como máximo atingível é +80 °C;
- Uma alteração na ordem dos 30 °C na temperatura da superfície não pode causar qualquer tipo de dano, como acontece quando há uma exposição prolongada à radiação solar seguida de uma intensa chuvada ou até mesmo a mudança de temperatura entre sol e sombra;
- Para além disto, é necessário tomar medidas para se evitar casos de fissuras dos sistemas em pontos críticos, como é o caso das juntas estruturais e dos locais onde a fachada é constituída por diferentes materiais;

No que à durabilidade dos componentes do sistema diz respeito, é importante referir:

- Todos os componentes devem manter as suas propriedades durante toda a vida útil do ETICS sob condições normais de utilização e manutenção, de modo a que a qualidade do sistema não seja comprometida;
- Todos os componentes do sistema devem ter uma estabilidade físico-química, pelo menos, razoavelmente previsível. Os materiais que devem cumprir este requisito são, preferencialmente, os isolamentos térmicos, os materiais de revestimento e de colagem;
- Todos os materiais devem ser naturalmente resistentes ou ser tratados e protegidos contra os ataques de corrosão dos mesmos;
- Todos os constituintes do sistema devem ser compatíveis uns com os outros;

A vida útil do ETICS em atividade é de aproximadamente 25 anos e os materiais constituintes do mesmo devem também apresentar durabilidade pelo menos equivalente (EOTA, 2015).

2.1.5.1. SEGURANÇA NA UTILIZAÇÃO DEVIDO A SOLICITAÇÕES HIGROTÉRMICAS

Após ser abordado o tema da durabilidade dos sistemas, torna-se relevante ser avaliada a segurança na utilização dos sistemas devido a solicitações higrotérmicas.

Como já foi referido no capítulo anterior, as variações da temperatura ambiente não podem ser a causa para destruir ou causar deformações no sistema ETICS. A ETAG 004 considera normal, para limites de temperatura do ar, de -20 °C a +50 °C. O valor que usualmente é considerado como máximo atingível das temperaturas superficiais dos sistemas de isolamento térmico é +80 °C (EOTA, 2013).

As solicitações de exposição à radiação solar podem provocar tensões ou deformações elevadas, dependendo sempre se existe ou não restrições ao movimento, que não são compatíveis com as propriedades requeridas pelos materiais usados. É importante que essas tensões e deformações sejam incluídas no dimensionamento do sistema, principalmente, na fixação do sistema ao suporte. A seguinte expressão calcula a extensão que o material pode ter. O valor do coeficiente de dilatação térmica linear do produto usado nas amostras desta dissertação, o weber.therm EPS, é de $5 \text{ a } 7 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (WEBER, 2018a).

$$\varepsilon = \alpha_{\text{Dilatação}} * \Delta T \quad (1)$$

Onde:

ε – Extensão do material em [mm/m];

$\alpha_{\text{Dilatação}}$ – Coeficiente de dilatação térmica linear [$^{\circ}\text{C}^{-1}$],

ΔT – Temperatura superficial das amostras [$^{\circ}\text{C}$].

Quanto aos pigmentos minerais, é aconselhável usar apenas aqueles que estão em conformidade com a norma NF EN 12878 e que não tenham influência sobre a argamassa fresca ou revestimento térmico (Normalização, 2014).

O uso de corantes deve estar sempre sujeito a testes de adequação e a sua dosagem não deve exceder 3% do peso do material ligante.

Segundo RCCTE e Leis (2006), as superfícies exteriores dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior das fachadas, quando estão sujeitas à influência da radiação solar, atingem uma temperatura superior à do ambiente exterior, podendo atingir os valores definidos pela seguinte fórmula:

$$T_{se} = T_e + \frac{\alpha_s x R}{h_e} \quad (2)$$

Onde:

T_{se} – Temperatura superficial exterior [$^{\circ}\text{C}$]

T_e – Temperatura ambiente exterior [$^{\circ}\text{C}$]

α_s – Coeficiente de absorção solar [-]

R – Radiação solar global [W/m^2]

h_e – Condutância térmica superficial exterior [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$]

De uma forma geral, pode considerar-se que $h_e = 25 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$; no entanto, o valor do coeficiente de absorção solar é condicionado principalmente pela cor do acabamento do sistema.

O coeficiente de absorção de radiação solar do revestimento final do sistema é limitado a 0,7, segundo a Dtu 26.1 p1-2. No quadro seguinte, são indicados os valores indicativos do coeficiente de absorção solar, provenientes da mesma referência (AFNOR, 2008).

Quadro 3 - Valores indicativos do coeficiente de Absorção Solar (AFNOR, 2008)

Cor da superfície	Valor do coeficiente de Absorção Solar (α)
Branco, Bege	0,2 a 0,3
Amarelo, Cor-de-Laranja, Vermelho Claro	0,3 a 0,5
Vermelho Escuro, Verde Claro, Azul Claro	0,5 a 0,7
Castanho, Verde Escuro, Azul Vivo, Azul Escuro	0,7 a 0,9
Castanho Escuro, Preto	0,9 a 1,0

Os tons mais escuros de alguns acabamentos, dos revestimentos dos sistemas ETICS, aumentam as tensões de origem térmica, devido a uma alta absorção solar, e aumentam, também, o risco de fissuras. Como resultado, qualquer valor do coeficiente de absorção solar acima de 0,7 deverá fazer com que esse material seja excluído, exceto em fachadas que estão protegidas da radiação solar direta ou indireta.

É necessário ter em atenção para não colocar, lado a lado, cores cuja diferença do coeficiente de absorção solar é maior que 0,2.

2.2. ABSORÇÃO SOLAR

2.2.1. REFLETÂNCIA DAS SUPERFÍCIES OPACAS

A envolvente dos edifícios tem uma enorme importância no capítulo do desempenho térmico e energético dos mesmos, devido às trocas de calor entre o interior e o exterior. É necessário, então, medir certas propriedades de materiais que constituem a envolvente.

No que diz respeito às trocas de calor que acontecem por radiação solar, o sol apresenta-se como a principal fonte de radiação incidente das superfícies opacas dos edifícios, sob a forma de onda curta. Aproximadamente metade dessa energia que é emitida corresponde ao intervalo de luz visível e a outra metade engloba as zonas de ultravioleta e infravermelhos no espectro solar (ASTM-G159-91). Assim, as propriedades térmicas dos materiais da envolvente são relevantes e preponderantes na avaliação do comportamento térmico do edifício.

Tendo em consideração que existe uma radiação incidente numa superfície, em resposta existem três parcelas por onde a radiação pode fluir: a parcela que é absorvida (α), a que é refletida (ρ) e a que é transmitida (τ). Para uma determinada temperatura, a lei da conservação de energia obriga a que a soma dos efeitos seja igual à unidade (Hens, 2017).

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (3)$$

Em edifícios (superfícies opacas), considera-se que a radiação dos sólidos é igual a zero ($\tau = 0$) logo, simplificando a expressão,

$$\alpha + \rho = 1 \quad (4)$$

É importante avaliar as propriedades térmicas como a refletância e absorptância solar – tanto uma como outra variam entre 0 e 1.

O valor da refletância solar é definido pelo quociente entre a parcela de radiação solar refletida e a radiação solar incidente sobre a mesma superfície (Barreira, 2012).

A absorptância solar corresponde ao quociente entre a taxa de radiação solar absorvida e a radiação solar incidente sobre a mesma superfície (Barreira, 2012).

A medição destas características pode ser efetuada por diferentes equipamentos e métodos. A nível internacional, a ASTM (*American Society for Testing and Materials*) normaliza para a medição do valor da refletância (ρ) as seguintes normas:

Quadro 4 – Quadro síntese das normas ASTM de medição da Refletância Solar, adaptado de (Sá, 2017)

Normas	Título	Equipamento utilizado	Descrição
ASTM E903	“Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres”	Espetrofotómetro UV-VIS-NIR	Esta norma consiste na utilização de um espectrofotómetro que faz incidir sobre uma amostra um feixe de radiação (250 a 2500 nm). Este equipamento, posteriormente, vai medir, através de dois detetores, a energia que é refletida nessa amostra, considerando uma energia constante em todo o espectro. Este espectrofotómetro está equipado com uma esfera de integração para medir, em ambiente laboratorial apenas, a refletância ao espectro solar de uma superfície plana e homogénea de dimensões reduzidas ($\leq 150\text{cm}^2$).
ASTM C1549	“Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer”	Refletómetro Solar Portátil	Esta norma consiste na medição da refletância solar de materiais planos e opacos usando um refletómetro solar portátil, que é constituído por uma cabeça de medição que possui uma lâmpada difusa de tungsténio-halogénio. Esta fonte irá fazer incidir uma radiação eletromagnética sobre a superfície opaca e a radiação que for refletida é medida através de quatro detetores. Inclui também um software que permite interpretar e controlar os sinais de medições e apresenta o valor da refletância para a massa de ar desejável para os seguintes valores: 0, 1, 1.5 ou 2. O facto de este método não abranger uma gama de comprimentos de onda tão vasta como a definida na norma ASTM E903 faz com que seja considerado mais preciso e permita realizar medições “<i>In Situ</i>” com amostras de maiores dimensões.
ASTM E1918	“Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-sloped Surfaces in the Field”	Piranómetro	Esta norma consiste num método para a medição do valor da refletância solar “<i>In Situ</i>” de superfícies horizontais ou de baixa inclinação ($< 9,5^\circ$ ou $16,7\%$ com o plano horizontal) usando um piranómetro. Possibilita a sua aplicação em grandes superfícies (10m^2) e trata-se do método mais aconselhável para superfícies curvas ou muito rugosas. Este equipamento é capaz de medir a totalidade de energia solar radiante que incide e reflete na superfície por unidade de tempo e área, obtendo assim o valor da refletância solar. Esta metodologia apenas deve ser aplicada em dias claros e com o sol intenso, sem nuvens ou neblina durante as medições. O ensaio deverá ser executado quando o ângulo do sol com a normal da superfície é inferior a 45°. Como a norma ASTM E1918 só pode ser aplicada a amostras de grandes dimensões, surgiu a necessidade de se apresentar um método

ASTM E1918A	“Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-sloped Surfaces in the Field”	Piranómetro	alternativo – não se trata de uma norma internacional como as anteriores. Proposto por <i>Akbari, Levinson e Stern</i> (2008), consiste numa variação da anterior norma, que permite medir a refletância solar de superfícies solares quadradas ou circulares, com cerca de 1m de lado ou 1m de diâmetro respetivamente (valores mínimos). Acrésceta-se às amostras duas máscaras, branca e preta, opacas de refletância, conhecida pelo método ASTM E903. Tal como na norma ASTM E1918, esta metodologia apenas deve ser aplicada em dias claros e com o sol intenso, sem nuvens ou neblina durante as medições. O ensaio deverá ser executado quando o ângulo do sol com a normal da superfície é inferior a 45°.
ASTM E1980	“Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-sloped Opaque Surfaces”	-	Este método tem como finalidade obter o índice de refletância solar (SRI). Em relação à energia que é absorvida, sabe-se que essa pode tomar dois caminhos: ser emitida sobre a forma de radiação solar de onda longa para o exterior e ser emitida para o interior da superfície opaca, por condução. Ou seja, estima a capacidade de uma superfície refletir a radiação solar recebida tomando como referência a temperatura de uma superfície negra padrão, com refletância de 0.05 e emitância de 0.9, e de uma superfície branca padrão, com refletância de 0.8 e emitância de 0.9. Para estes parâmetros de entrada e com a utilização de uma equação específica, podemos estimar o SRI que pode variar de 0 a 100.

Em relação à norma ASTM E1918A, importa referir que foram elaboradas experiências propostas por *Akbari e Levinson*, em que foi testado em amostras multicolor e unicolor os dois métodos, com o objetivo de efetuar a medição da refletância solar. Ficou provado que o valor absoluto da diferença nas medições não excede 0,02. Os conjuntos multicolores tendem a apresentar uma maior diferença entre os valores medidos nos métodos E1918 e E1918A porque a mistura de cor numa área menor de 1m² (E1918A) não era necessariamente idêntica à de maior área (10m²) (*Akbari, Levinson e Berdahl, 1996; ASTM, 2015*).

A proximidade entre as medições dos valores da refletância solar das duas normas demonstra que E1918A pode ser utilizado em vez de E1918 para medir a refletância solar de amostras de pequeno tamanho sem perder precisão, como foi o caso do desenvolvimento prático das dissertações de mestrado na campanha I e II (*Carneiro, 2016; Sá, 2017*).

2.2.2. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL

A medição da temperatura superficial depende de fatores como o mecanismo de transferência de calor. A sua participação para a existência e variação da temperatura superficial é deve-se aos efeitos de convecção, condução e radiação incidente nas superfícies dos objetos.

No esquema seguinte será explicado de forma sucinta os equipamentos de medição de temperatura superficial, que podem ser de três tipos: dispositivos de contacto (sondas mecânicas ou elétricas); dispositivos sem contacto (pirómetros de radiação térmica); através de ensaios normalizados termográficos com a norma europeia EN13187:1999.

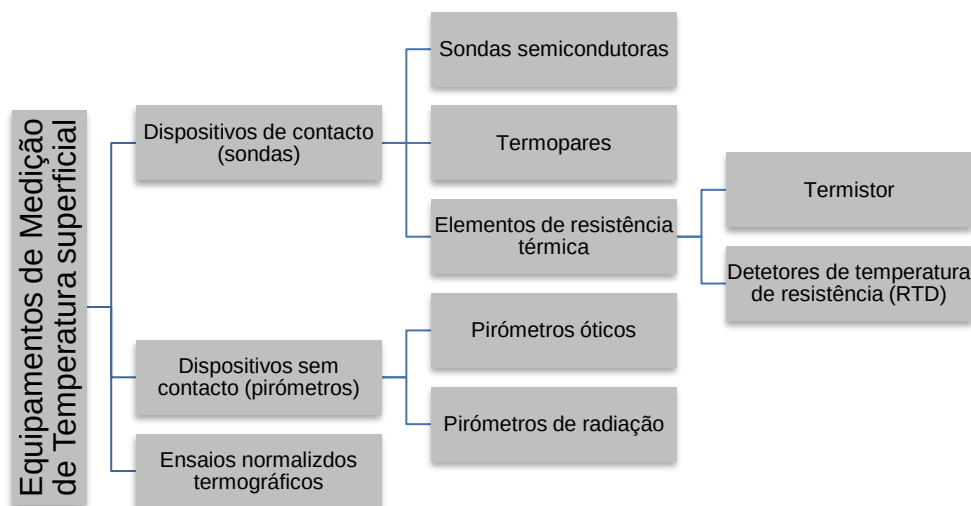


Figura 4 - Equipamentos de medição da Temperatura Superficial

Os dispositivos de medição utilizados no desenvolvimento experimental foram dispositivos de contacto através de termopares do tipo T e K.

Os termopares, como estão esquematizados na Figura 4, tratam-se de dispositivos de contacto constituídos por um fio que contém dois condutores ou semicondutores ligados entre si através de duas junções diferentes. Estas duas junções encontram-se a temperaturas distintas produzindo uma força eletromotriz. No fundo, uma junção que terá temperaturas mais altas estará em contacto com a superfície em estudo e a outra junção, com temperaturas mais baixas, estará conectada ao dispositivo de medição da força eletromotriz.

As vantagens da utilização deste sistema são:

- Amplos intervalos de medição da temperatura superficial;
- Dispositivos com resposta rápida às variações de temperatura;
- Custo reduzido em comparação com outros sistemas e equipamentos de medição.

Serão apresentados no Quadro 5, então, alguns conjuntos comuns de termopares (mais utilizados) e os respetivos materiais que os poderão constituir. Consequentemente, cada material terá as suas características a nível da temperatura e da tensão.

Quadro 5 – Tipos de Termopares e respectivos intervalos de Temperatura (Duff e Towey, 2010)

Tipo de Termopar	Conjunto de Materiais	Intervalo de Temperaturas (°C)	Vantagens
J	Ferro + Liga Constantan	[0 a 760]	- Custos reduzidos - Melhor para medições em ambientes neutros ou redutores inseridos na sua gama de temperaturas
T	Cobre + Liga Constantan	[-184 a 370]	- Resistente a ambientes mais corrosivos - Melhor para medições negativas de temperatura devido à sua estabilidade
K	Liga de Cromel + Liga de Alumel	[0 a 1260]	- Indicado para ambientes oxidantes - Comporta-se melhor para temperaturas mais elevadas

2.2.3. INFLUÊNCIA E PARÂMETROS DE MEDIÇÃO DA COR

A cor de um objeto está relacionada com a forma como a superfície absorve e reflete a radiação que incide sobre a mesma, radiação essa que se localiza no espectro solar da zona visível.

A diferença de cores dos objetos é obtida pelos comprimentos de onda da “luz visível” que são refletidos neles mesmos. Quando as células presentes no olho humano emitem os impulsos nervosos, em direção ao cérebro, vai originar uma resposta cromática na pessoa, que se trata de uma reação psíquica e fisiológica. Como nem todas as pessoas obtêm as mesmas reações e respostas, identificar cores atribuindo-lhes nomes pode ser bastante impreciso, sendo aconselhável a identificação ser feita através de um conjunto de três números correspondentes aos três atributos das cores (Matiz, Saturação e Claridade) (Pereira, 2000).

As superfícies mais claras apresentam altos valores de refletância solar no espectro visível, estando ligadas a temperaturas superficiais mais baixas. Por sua vez, as superfícies mais escuras apresentam baixos valores de refletância no espectro visível e no infravermelho, estando ligadas a temperaturas superficiais mais elevadas.

Com recurso a técnicas inovadoras torna-se possível ter dois revestimentos com cores idênticas e valores de refletâncias solares bastante diferentes como ficou provado com o desenvolvimento da dissertação de mestrado na campanha I. No entanto, existe uma relação inequívoca entre a cor do revestimento das superfícies e as respetivas refletâncias e acaba por ter grande influência nos resultados obtidos. Porém, é necessário ter em conta que presentemente existem produtos no mercado, capazes de atribuir refletâncias distintas a acabamentos com cores semelhantes, tornando-se assim essencial, antes de atribuir qualquer relação entre a cor e o valor de refletância solar, medir o correto valor utilizando métodos próprios para o efeito (Dornelles, 2008).

No quadro seguinte, serão apresentados valores do coeficiente de absorção fornecidos pela empresa SAINT-GOBAIN WEBER PORTUGAL e os valores medidos por Carneiro (2016).

Quadro 6 – Comparação de valores de Absortância Solar (Carneiro, 2016; WEBER, 2018c)

Cor	Absortância (α) Weber	Amostras Carneiro (2016)	Absortância (α) Carneiro (2016)
Branco	0,2 a 0,3	Branco 0919	0,27
Amarelo, creme, laranja, vermelho claro	0,3 a 0,5	Pastel 0839	0,34
		Azul 1774	0,44
Vermelho escuro, verde claro, azul claro	0,5 a 0,7	Verde 1436	0,59
		Tijolo 0555	0,64
		Vermelho 0444	0,69
Castanho, azul vivo, azul escuro, verde escuro	0,7 a 0,9	Wengué 0412	0,77
		Castanho 0426	0,78
Castanho escuro, preto	0,9 a 1	Preto 3500	0,88

É possível concluir, através da análise desta tabela, que os valores estão enquadrados com os valores padrão da empresa em questão. Para cores mais claras, o coeficiente de absorção é menor. Consequentemente, da aplicação da fórmula (4) ($\alpha + \rho = 1$), obtém-se o valor de refletância das mesmas superfícies.

Como este trabalho apresenta um desenvolvimento sustentado em campanhas idênticas realizadas em anos anteriores, surgiu a necessidade de existir um parâmetro que avaliasse o comportamento que as cores dos revestimentos das amostras tiveram durante estes dois e, em alguns casos, três anos de exposição solar a que estiveram sujeitas. Esse parâmetro trata-se do CIELAB.

O CIELAB, também conhecido por CIE $L^*a^*b^*$, é um espaço de cor definido pela Comissão internationale de l'éclairage (CIE), em 1976, que define a cor em três valores numéricos: L corresponde à componente da luminosidade, a e b correspondem às componentes da cor que variam entre verde – vermelho e azul – amarelo, respetivamente, como é demonstrado na Figura 5 (Sharma, Wu e Dalal, 2005; Weatherall e Coombs, 1992).

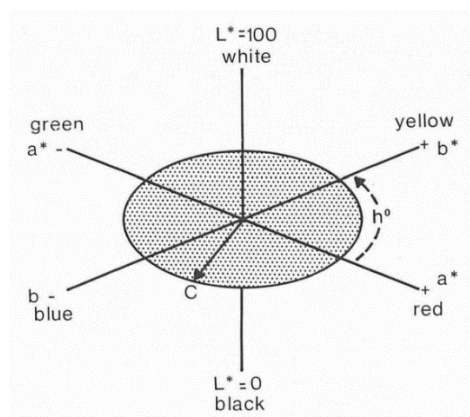


Figura 5 - Espaço de cor CIELAB, fonte (Weatherall e Coombs, 1992)

Segundo Weatherall e Coombs (1992), este parâmetro de medição da cor foi designado para que a variação numérica dos valores L^* a^* b^* correspondesse aproximadamente à mudança de cor visualmente perceptível. O CIELAB é um espaço numérico tridimensional real, que permite um infinito número de combinações possíveis de representação da cor das amostras. Os valores L , a e b têm o seguinte intervalo predefinido:

- L^* , parâmetro de luminosidade: = 0, representa o preto mais escuro possível; = 100, o branco mais brilhante;
- a^* e b^* , componente verde – vermelho e azul – amarelo, respetivamente. Tanto um como o outro parâmetros, quando são iguais a zero, representam uma cor de cinza neutro; o eixo a^* exibe a cor verde na direção negativa e vermelho na direção positiva e o eixo b^* representa a cor azul na direção negativa e amarelo na direção positiva – os limites dos eixos geralmente são representados entre [-100 a +100] ou [-128 a +127].

Segundo Sharma, Wu e Dalal (2005), Brainard (2003) e Weatherall e Coombs (1992), o espaço CIELAB não é apenas conveniente pela sua correlação entre os valores medidos com a experiência real de observação da alteração das cores, como tem uma importância na vantagem que traz em fornecer um meio possível de medir as diferenças de cor. Como já foi referido anteriormente, este trabalho assenta na análise de duas campanhas anteriores, onde foram retirados os parâmetros L^* a^* b^* durante dois e, em alguns casos, três anos de medições efetuadas nas amostras, ou seja, a importância de comparar as cores ao longo do processo de evolução a que as amostras estão sujeitas à exposição solar torna-se relevante na medida que é possível perceber qual a tendência, o que determinadas características e componentes presentes em cada amostra podem influenciar na cor de acabamento dos revestimentos.

Essa diferença de cor, denominada por ΔE , trata-se de uma variável para entender como é que o olho humano percebe a diferença de cor, e é calculada usando as coordenadas geométricas L^* a^* b^* , segundo a seguinte fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (5)$$

No Quadro 7, são apresentados os valores que o ΔE pode assumir e os respetivos significados práticos a nível da percepção humana, que é possível obter consoante os valores obtidos.

Quadro 7 - Escala de percepção humana do ΔE

ΔE	Percepção Humana
$\leq 1,0$	Não perceptível ao olho humano
1 - 2	Perceptível a curta distância
2 - 10	Perceptível ao olho humano
11 - 49	As cores são mais similares aos respetivos opostos
100	As cores são exatamente os seus opostos

2.2.4. TECNOLOGIAS DE REDUÇÃO

Este desenvolvimento surge devido à necessidade de ter uma ampla gama de cores que sejam capazes de manter ou, até em alguns casos, aumentar o desempenho térmico das fachadas de edifícios. Por conseguinte, de facto, estão a ser descobertas cada vez mais soluções para responderem com eficiência à necessidade de fazer com que a mesma superfície, com a mesma cor, consiga manter as superfícies com temperaturas inferiores devido à capacidade desses materiais refletantes.

O desenvolvimento crescente destes materiais refletivos, seja para edifícios ou ambiente urbano, procura melhorar o desempenho energético, através da sua capacidade em aumentar a refletância solar, quando aplicado por exemplo em revestimentos de fachadas de edifícios (Gobakis et al., 2015).

A conjugação de ocorrências como o facto de haver uma concentração de volume de pigmento acima do valor crítico, a existência de radiação UV e a humidade permite criar um ambiente no qual a degradação de pigmentos ocorre com facilidade. Os pigmentos inorgânicos são mais resistentes nestas situações e por isso é aconselhável a utilização destes para aplicações em fachadas de edifícios (Oorschot, 2012).

Os pigmentos inorgânicos podem dividir-se em duas classes, os coloridos e os brancos.

Os coloridos, podem ser naturais, do tipo argila de ocre, mineral hematita ou magnetita. Podem, também, ser sintéticos, dividindo-se em três grupos: o grupo dos pigmentos coloridos inorgânicos complexos (CICPs), o grupo dos óxidos metálicos e o grupo dos sais metálicos (Oorschot, 2012; Sá, 2017).

No domínio dos brancos, existem os pigmentos opacos e não opacos, estando presente no grupo dos opacos o TiO_2 , que será utilizado posteriormente no trabalho experimental (Oorschot, 2012; Sá, 2017).

As superfícies brancas refletem a maior parte da radiação solar no espectro ultravioleta, visível e nos infravermelhos. Os acabamentos coloridos não refletem tanta quantidade de radiação e pode mesmo concluir-se que, quanto mais escuro for a cor, maior radiação é absorvida na área visível e infravermelha, estando assim associado às mesmas uma temperatura superficial superior (Levinson, Berdahl e Akbari, 2005).

As possíveis reações de degradação das fachadas dos edifícios ocorrem mais rapidamente se as superfícies atingirem altos valores de temperatura. Por isto mesmo, manter estas temperaturas o mais baixo possível torna-se essencial, para que existam menos tensões no revestimento e no seu substrato, aumentando assim a durabilidade e o período de vida útil dos sistemas que forem aplicados.

O benefício destas tecnologias de redução de absorção solar, aplicado às fachadas, faz com que seja possível que dois pigmentos possam ter os mesmos valores de absorção na área visível, produzindo a mesma cor de acabamento observada. Podem ter características distintas na absorção de radiação na área dos infravermelhos, o que originará diferenças na acumulação de calor na superfície. Caso a radiação infravermelha seja refletida, as superfícies ficam mais frias. No exemplo das superfícies mais claras, muita radiação infravermelha já é refletida e, no caso das mais escuras, esse efeito vem diminuindo. Para contrariar este resultado, é necessário escolher um pigmento preto, refletor de infravermelhos, que resulte numa maior refletância dessa radiação, pois o resultado vai ser uma superfície mais fria, com menores custos de consumos energéticos, com menores tensões superficiais e menor degradação, tornando as superfícies mais resistentes ao envelhecimento (Oorschot, 2012).

No caso das superfícies escuras, nem sempre temos valores altos de reflexão na área dos infravermelhos. Assim, se optarmos pela escolha de um pigmento preto refletor de IR, acabamos por obter resultados com maior relevância do que em superfícies claras, onde a maior parte da radiação já terá sido refletida naturalmente na área dos infravermelhos. A adição deste tipo de pigmento inorgânico acaba por ser muito vantajosa a um sistema de cores, principalmente na aplicação de fachadas de edifícios.

O pigmento inorgânico mais utilizado é o TiO_2 , quando o desejado é alcançar bons índices de reflexão, poder de cobertura e bom desempenho térmico. As vantagens que este pigmento nanométrico traz devem-se à sua maior reflexão solar, melhor resistência à sujidade e melhor efeito de autolimpeza (Godnjavec et al., 2014).

Quadro 8 – Quadro síntese de estudos realizados sobre as tecnologias de redução da Absorção Solar, adaptado de (Sá, 2017)

	Autores		
	(Shen et al., 2106)	(Zhoua et al., 2016)	(Piria et al., 2016)
Descrição do trabalho experimental	- O principal objetivo é perceber a influência que a graduação dos pigmentos de TiO₂ têm na refletância solar, no desempenho térmico e propriedades mecânicas do revestimento de isolamento térmico - Foram testadas três superfícies com altos valores de TiO₂, entre 5 a 20% e várias dimensões - Duas das superfícies testadas contém diferentes graduações, mas tudo de partículas mais pequenas (S1, S2) - A outra superfície contém a graduação de um único tamanho grande de partícula (S3)	- O principal objetivo é caracterizar o desempenho refletivo e isolante de revestimentos com diferentes aditivos - Uso de quatro superfícies: 1ª-painel de betão não revestido 2ª-revestimento de emulsão acrílica branca 3ª-revestimento de emulsão acrílica e TiO₂ 4ª-revestimento de emulsão acrílica, TiO₂ e esferas de vidro	- O principal objetivo é caracterizar a refletância e absortância de diferentes superfícies com diferentes variáveis - Três amostras com baixa graduação de TiO₂ (5%), variando as dimensões das partículas - Cinco amostras com as mesmas dimensões de partículas fazendo variar as graduações de TiO₂ (0,1-10%)
Propriedades testadas	- Refletância solar - Desempenho do isolamento térmico - Resistência à lavagem - Resistência à adesão	- Refletância solar - Isolamento térmico	- Refletância Solar - Absortância Solar
Conclusões	- As partículas de TiO₂ mais pequenas têm a capacidade de se compactar em arranjos mais densos e com menor porosidade do que as de maior de granulometria maior - O revestimento com as nanopartículas apresenta valores mais elevados de refletância solar na zona visível e dos infravermelhos, menor temperatura superficial e maior resistência à lavagem e adesão	- Os revestimentos 3 e 4 são capazes de atingir valores mais elevados de reflexão da radiação solar, reduzindo significativamente a temperatura superficial - Na zona não iluminada o revestimento 4 é o que se comporta melhor, pois atrasa a fluxo de transferência de calor do exterior para o interior	- Com o aumento do tamanho das partículas e com o aumento da graduação das mesmas até ao valor de 10%, conclui-se que o valor da refletância solar terá um aumento notório

Pertencente ao domínio dos pigmentos inorgânicos coloridos sintéticos, os CICPs, também designados por “*Complex Inorganic Color Pigments*”, têm como principal vantagem a sua estabilidade, quando sujeitos a temperaturas altas devido à sua natureza cerâmica, o que fez com que se usassem estes pigmentos em polímeros de engenharia de alta temperatura para plásticos e revestimentos.

Os CICPs potenciam, às aplicações mais exigentes, propriedades como estabilidade ao calor, inércia térmica, resistência ao desgaste, facilidade de dispersão e ampla aprovação regulamentar, tornando-se assim numa solução bastante viável na indústria da construção, mais propriamente no mercado de revestimentos exteriores das fachadas (Ryan, 2016).

Segundo Carneiro (2016), no seu desenvolvimento experimental, a adição dos “cool pigments” (CICPs) às amostras estudadas permite, para uma mesma cor de acabamento, que as amostras que possuem o pigmento atinjam valores de refletância superiores. Por exemplo, com a cor de acabamento de Preto 3500 com os pigmentos, obteve-se 15 % mais refletância do que a mesma amostra, mas sem os pigmentos refletantes.

3

METODOLOGIA

3.1. SISTEMAS TESTADOS E RESPETIVOS MATERIAIS

3.1.1. AMOSTRAS USADAS AO LONGO DE 3 ANOS DE MEDIÇÕES

Este capítulo consiste em clarificar e expor todos os materiais que compõe os sistemas que foram testados ao longo do processo de desenvolvimento de obtenção de dados, relativamente à refletância solar e à temperatura superficial de cada uma das amostras.

Os trabalhos de dissertações de mestrado anteriores a esta, foram realizados pelos autores Bruno Carneiro, em 2016, e por Miguel Sá, em 2017, cujos respetivos temas eram “A influência da Cor na Temperatura Superficial de Revestimentos Térmicos” e “A Influência dos Pigmentos Refletantes na Temperatura Superficial dos Revestimentos Térmicos”.

Na componente a que se destina a metodologia de trabalho realizada, os autores utilizaram o método alternativo E1918A, que será o mesmo utilizado na obtenção de dados apresentados no capítulo 4.

Nos quadros seguintes, serão apresentadas todas as amostras que estiveram presentes nas medições de cada um dos autores e os respetivos componentes que as compõem.

Nota:

- Campanha I, são as medições realizados por Bruno Carneiro, em 2016;
- Campanha II, são as medições realizadas por Miguel Sá, em 2017;
- Campanha III, são as medições realizadas no decorrer desta dissertação de mestrado.

Quadro 9 – Constituição dos sistemas da Campanha I

Sistemas Testados	Componentes do Sistema Testado
Branco 0919 ETICS	
Pastel 0839 ETICS	1ª Fase: -Weber.therm EPS
Azul 1774 ETICS	+
Verde 1436 ETICS	2ª Fase: -Weber.therm pro (2 camadas) e weber.therm rede normal (camada intermédia)
Tijolo 0555 ETICS	+
Vermelho 0444 ETICS	3ª Fase: -Weber.plast decor M (à cor)
Wengué 0412 ETICS	
Castanho 0426 ETICS	
Preto 3500 ETICS	
Vermelho 0444 ETICS – “cool pigments”	1ª Fase: -Weber.therm EPS
	+
	2ª Fase: -Weber.therm pro (2 camadas) e weber.therm rede normal (camada intermédia)
Preto 3500 ETICS – “cool pigments”	+
	3ª Fase: -Weber.plast decor M (à cor), com a presença de “cool pigments” da marca Chromaflo Technologies e são designados por Navapint D Solar Reflective
	1ª Fase: -Weber.therm aislone
	+
Preto 3500 Reboco térmico – “cool pigments”	2ª Fase: -Weber.therm pro (2 camadas) e weber.therm rede normal (camada intermédia)
	+
	3ª Fase: -Weber.plast decor M (à cor), com a presença de “cool pigments” da marca Chromaflo Technologies e são designados por Navapint D Solar Reflective
	1ª Fase: -Weber.therm aislone
	+
Preto 3500 Reboco térmico	2ª Fase: -Weber.therm pro (2 camadas) e weber.therm rede normal (camada intermédia)
	+
	3ª Fase: -Weber.plast decor M (à cor)

Quadro 10 – Constituição dos sistemas da Campanha II

Sistemas Testados	Componentes do sistema testado
EPS 1	(sem primário + preto 3500 com TiO2 e “cool pigments”)
EPS 2	(com primário + preto 3500 com TiO2 e “cool pigments”)
EPS 3	(primário com “cool pigments” + preto 3500 com TiO2 e com “cool pigments”)
EPS 4	(com primário + preto 3500 com TiO2)
EPS 5	(primário com “cool pigments” + preto 3500 sem TiO2 e com “cool pigments”)
EPS 6	(sem primário + preto 3500 com TiO2)
EPS 7	(primário com “cool pigments” + preto 3500 sem TiO2 e com 0,2% “cool pigments”)
AS 3	(primário com “cool pigments” + preto 3500 com TiO2 e “cool pigments”)
AQ 1	(sem primário + preto 3500 com TiO2 e “cool pigments”)
AQ 3	(primário com “cool pigments” + preto 3500 com TiO2 e “cool pigments”)
Branco 0919 ETICS	(sem primário + branco 0919 com TiO2)
Preto 3500 ETICS	(sem primário + preto 3500 com TiO2)
Preto 3500 Reboco térmico	(sem primário + preto 3500 com TiO2)
Preto 3500 ETICS – “cool pigments”	(sem primário + preto 3500 com TiO2 e “cool pigments”)
Preto 3500 Reboco térmico – “cool pigments”	(sem primário + preto 3500 com TiO2 e “cool pigments”)
EPS 7F	Constituição não disponível
EPS 8F	
EPS 9F	

Quadro 11 - Constituição dos sistemas da Campanha III

Sistemas Testados	Componentes do sistema testado
EPS 1	(sem primário + preto 3500 com TiO ₂ e “cool pigments”)
EPS 2	(com primário + preto 3500 com TiO ₂ e “cool pigments”)
EPS 3	(primário com “cool pigments” + preto 3500 com TiO ₂ e com “cool pigments”)
EPS 4	(com primário + preto 3500 com TiO ₂)
EPS 5	(primário com “cool pigments” + preto 3500 sem TiO ₂ e com “cool pigments”)
EPS 6	(sem primário + preto 3500 com TiO ₂)
EPS 7	(primário com “cool pigments” + preto 3500 sem TiO ₂ e com 0,2% “cool pigments”)
AS 3	(primário com “cool pigments” + preto 3500 com TiO ₂ e “cool pigments”)
AQ 1	(sem primário + preto 3500 com TiO ₂ e “cool pigments”)
AQ 3	(primário com “cool pigments” + preto 3500 com TiO ₂ e “cool pigments”)
Branco 0919 ETICS	(sem primário + branco 0919 com TiO ₂)
Preto 3500 ETICS	(sem primário + preto 3500 com TiO ₂)
Preto 3500 Reboco térmico	(sem primário + preto 3500 com TiO ₂)
Preto 3500 ETICS – “cool pigments”	(sem primário + preto 3500 com TiO ₂ e “cool pigments”)
Preto 3500 Reboco térmico – “cool pigments”	(sem primário + preto 3500 com TiO ₂ e “cool pigments”)
Fr 1 (EPS 8F)	Constituição não disponível
Fr 2 (EPS 9F)	
Fr 3 (EPS 7F)	

Nota:

EPS – Corresponde ao sistema testado com placas de poliestireno expandido, comercializado pela empresa “Weber-Saint Gobain” como weber.therm EPS.

AS – Corresponde ao sistema testado com a utilização de reboco térmico como material isolante, comercializado pela empresa “Weber-Saint Gobain” como weber.therm aislone.

AQ – Corresponde ao sistema testado com placas de betão leve Aquaroc, que funciona como suporte onde é aplicado diretamente o produto weber.therm pro. Este sistema é introduzido nas amostras, como forma de comparar com uma situação tradicional de reboco à base de cimento, gesso ou cal, onde não existe uma camada de isolamento térmico.

Fr – Corresponde aos sistemas de amostras francesas.

3.2. AVALIAÇÃO DA REFLETÂNCIA SOLAR

3.2.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios de medição realizados “In Situ”, referentes à avaliação do parâmetro da refletância solar serão realizados e apresentados segundo o método alternativo E1918A, especificado no subcapítulo 2.2.1. Os dois autores de dissertações de mestrado anteriores sobre o mesmo tema, tanto Bruno Carneiro (2016) como Miguel Sá (2017), optaram também, no procedimento experimental, por efetuar as suas medições de refletância solar seguindo o método alternativo E1918A.

Estas medições têm de ser realizadas em períodos particulares de tempo atmosférico, ou seja, requerem uma meteorologia específica: não pode estar presente qualquer tipo de nebulosidade no céu, pois requer que o mesmo esteja completamente limpo e num dia ensolarado, sendo o sol tem, também, que fazer com a normal das superfícies a ensaiar, que se encontram horizontais, um ângulo inferior a 45°.

Consoante os anos em que as amostras foram medidas, o período de tempo de medições da refletância solar variou da seguinte forma:

- Na campanha I, efetuou-se as medições nos dias 8 e 9 de Junho de 2016, entre as 10h e as 15h;
- Na campanha II, realizou-se os ensaios de medição de refletância solar das amostras nos dias 12 e 21 de Abril de 2017, entre as 12h e as 15h;

Relativamente ao desenvolvimento experimental da avaliação da refletância solar “*In Situ*”, o método utilizado é o método alternativo E1918A, desenvolvido com mais pormenor no capítulo 2.2.1, que, de facto, se torna numa adaptação de um método já existente, o E1918.

De referir que a metodologia de ensaio “*In Situ*” desta norma alternativa (E1918A) é a seguinte:

- i. Colocar o piranómetro no centro da amostra a medir, com uma altura de 50cm;
- ii. Posicionar sobre a amostra a ensaiar a máscara preta opaca e, depois, sobre esta a máscara branca opaca;
- iii. Virar o piranómetro para cima, com o intuito de medir a irradiância solar total que incide na superfície horizontal das amostras (I_H);

$$I = \frac{\text{Potência incidente}}{\text{Área da superfície}} \quad (6)$$

- iv. Virar o piranómetro para baixo, para medir a irradiância solar refletida pela máscara branca opaca (I_1); seguidamente, remove-se esta máscara e mede-se a irradiância solar refletida pela máscara preta opaca (I_2) e, por último, retira-se esta máscara e mede-se a irradiância solar refletida pela amostra em análise (I_3);
- v. Virar o piranómetro para cima para medir novamente a irradiância horizontal solar total (I'_H). Sendo que, se $|I'_H - I_H| > 20\text{W/m}^2$, ter-se-á de repetir os passos de ii) a v);
- vi. As medições anteriores devem ser efetuadas num intervalo de tempo que não exceda os 10 minutos e entre elas deve-se aguardar pelo menos 30 segundos para o piranómetro estabilizar;
- vii. Após as medições anteriores estarem efetuadas calcula-se a refletância solar da amostra pela seguinte expressão;

$$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b) \quad (7)$$

Onde:

R_t – Refletância da amostra;

R_b – Refletância da máscara preta opaca (valor medido na norma ASTM E903);

R_w – Refletância da máscara branca opaca (valor medido na norma ASTM E903);

I_1 – Irradiância solar da máscara branca opaca [W/m^2];

I_2 – Irradiância solar da máscara preta opaca [W/m^2];

I_3 – Irradiância solar da amostra [W/m^2].

- viii. Repetir os passos de ii) a vii) para ficar com um total de três medições do valor da refletância solar da amostra, sendo o valor médio a respetiva refletância;
- ix. Se o intervalo de valores dessas três medições de refletância solar exceder 0,02, isto é, $R_{t, \text{máx}} - R_{t, \text{min}} > 0,02$ deve-se repetir os passos de ii) a viii).

3.2.2. INFRAESTRUTURA EXPERIMENTAL

No método alternativo E1918, como foi referido no capítulo 2.2.1, para efetuar a medição “*In Situ*” da refletância solar é utilizado um aparelho de medição que se trata de um piranómetro da marca Hukseflux Thermal Sensors e modelo SR05. (Hukseflux, 2018)

Dentro da gama de aparelhos que cumprem os requisitos da segunda classe ISO 9060, o modelo SR05 Hukseflux tem como principal objetivo a medição da radiação solar recebida por uma superfície plana, em W/m^2 , a partir de um ângulo de visão de 180° . O piranómetro é um aparelho de fácil montagem e instalação devido ao seu mecanismo de bola e estão disponíveis várias saídas tanto digitais como analógicas para facilitar a integração. A radiação que é recebida pela superfície plana é designada por radiação solar hemisférica. Para uma melhor compreensão da estrutura deste aparelho de medição, são apresentadas a Figura 6 e a Figura 7, onde são descritas todas as peças que o compõem.



Figura 6 - Montagem do Piranómetro SR05 da Hukseflux "In Situ"

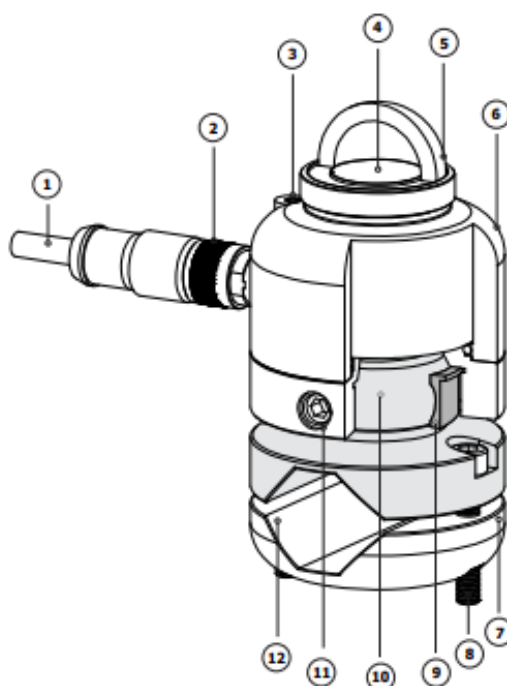


Figura 7 - Esquema do Piranômetro usado - 1. Cabo; 2. Conector; 3. Nível com bolha; 4. Sensor térmico com revestimento preto; 5. Vidro protetor; 6. Corpo do sensor; 7. Suporte para o tubo (opcional); 8. Parafuso de montagem do suporte (opcional); 9. Calço; 10. Nivelamento de esfera interior; 11. Parafuso de ajuste do nivelamento de esfera; 12. Abertura para o tubo (opcional) (Hukseflux, 2018)

Quadro 12 - Especificações sobre o Piranômetro SR05 Hukseflux Thermal Sensors (Hukseflux, 2018)

Especificações	Unidades	Valor
Incerteza de calibração (a)	%	< 1,8 (k=2)
Resposta direcional (b)	W/m ²	< ±25
Resposta de temperatura (c)	°C	< ±3 % (-10 a 40)
Mudança de sensibilidade por ano (d)	%	< ±1
Resposta a 200W/m ² de radiação térmica	W/m ²	< 15
Resposta a mudança de 5K/h na temperatura ambiente	W/m ²	< ±4
Tempo de resposta	s	18
Alcance da transmissão	W/m ²	0 a 1600
Faixa de medição	W/m ²	0 a 2000
Saída analógica	V	0 a 1
Não linearidade	W/m ²	< ±1% (100 a 1000)
Seletividade espectral	m	< ±5% (0,35 a 1,5x10 ⁻⁶)
Resposta à inclinação	°	< ±2% (0 a 90) para 1000W/m ²
Escala de temperatura de funcionamento	°C	-40 a 80
Escala espectral	nm	285 a 3000

A precisão das medidas do piranómetro será estimada a partir da fórmula seguinte, onde serão usadas as especificações com a letra associada.

$$P = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2} = \sqrt{1,8^2 + 2,5^2 + 3^2 + 1^2} = 4,4\% \quad (8)$$

Em relação à estrutura de suporte que irá ser montada para permitir que toda a análise experimental se realize da melhor maneira, esta será semelhante à que o método ASTM E1918 utiliza para obter a refletância, isto é, a medida na altura terá de cumprir os 50 cm de distância entre o aparelho de medição e as amostras.

Para uma melhor compreensão, o esquema será apresentado graficamente na Figura 8. Ainda, será apresentada uma fotografia de uma medição do valor de refletância solar da amostra EPS5, onde é utilizada a mesa de suporte do piranómetro, na Figura 9.

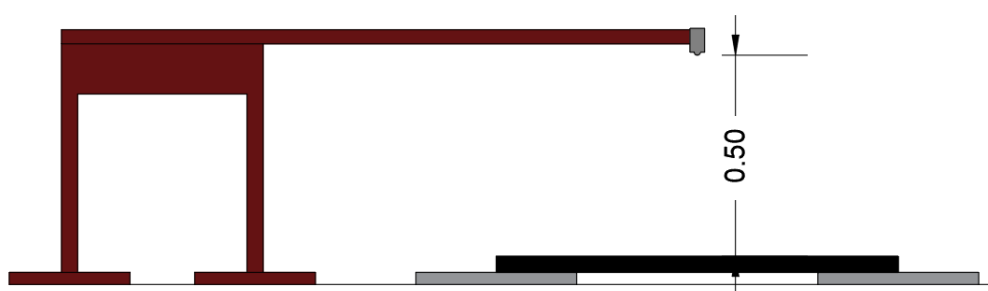


Figura 8 - Esquema da mesa de suporte do piranómetro de medição da refletância solar (medidas em metros)



Figura 9 - Mesa de suporte do piranómetro de medição da refletância solar

3.2.3. TRATAMENTO DE DADOS

Na campanha I, para as medições “*In Situ*” da radiação e refletância solar, que foram realizadas conforme o método alternativo E1918A, seguiu-se a metodologia do mesmo descrita no capítulo 2.2.1. Os valores de refletância solar apresentados são resultado de uma média de três valores medidos em cada amostra. No entanto, em cada uma dessas três medições, foi ainda registado um grupo de valores intermédios, (IH- irradiância solar total que incide na superfície horizontal das amostras, I1- irradiância solar refletida pela máscara branca opaca, I2- irradiância solar refletida pela máscara preta opaca, I3- irradiância solar refletida pela amostra em análise e por último o I’H- irradiância solar total que incide na superfície horizontal das amostras no final do ciclo de medições) . Os valores de refletância solar utilizados como representativos nas máscaras opacas, branca e preta, foram 90% e 10%, respetivamente. Os valores de absorptância solar são calculados através da equação $\alpha = 1 - \rho$.

Como representação e apresentação dos resultados e medições obtidas, Bruno Carneiro (2016) utilizou uma tabela onde se torna possível visualizar e perceber quais as amostras com diferentes revestimentos e materiais isolantes testados com maior refletância solar.

Na campanha I conclui-se, analisando a tabela, onde se apresentou os dados relativos aos valores da refletância solar, que, como à partida já era previsto, as amostras com o revestimento à cor Branco 0919 e Preto 3500 foram as que obtiveram valores maiores e menores, respetivamente. Conclui-se, também, que as amostras onde são incluídos os pigmentos refletantes “cool pigments” possuem valores de refletância superiores em relação às amostras que incluem uma cor de revestimento final idêntica, mas sem a adição de qualquer tipo de pigmentos refletantes. A conclusão mais interessante foi mesmo o facto de ser possível com a adição dos “cool pigments” em cores mais escuras (como, por exemplo, o Preto 3500) se obter valores de refletância solar mais altos do que cores mais claras sem a presença desses mesmos pigmentos (como, por exemplo, o Wengué 0412 e o Castanho 0426).

Para além dessa análise de dados organizada numa tabela, o autor utilizou um gráfico comparativo dos valores da absorptância solar medidos “*In Situ*”, e os nominais, que foram fornecidos pela empresa “Weber-Saint Gobain”, onde é possível observar alguma discrepância entre os dois parâmetros analisados em amostras como, por exemplo, nas amostras que continham os revestimentos finais de cor Branco 0919, Pastel 0839, Tijolo 0555 e Vermelho 0444.

Na campanha II, no tratamento dos dados obtidos da realização do processo experimental segundo o método alternativo E1918A, os valores de refletância solar medidos são, como em 2016, fruto de uma média de três valores, válidos e medidos em cada amostra. Nos passos intermédios, até se obter esses valores, são registados quatro irradiâncias para cada valor de refletância solar medido. O autor considerou como valores de referência 90% e 10% para as refletâncias solares das amostras, branca e preta opacas. A absorptância solar foi calculada segundo a mesma fórmula de cálculo onde $\alpha = 1 - \rho$.

Como representação e apresentação dos resultados e medições obtidas, o autor optou por apresentar duas tabelas de valores, uma tabela onde incluía a medição realizada no ano 2016 e, posteriormente, usando as mesmas amostras, numa nova medição que iria realizar em 2017, mostrando. Também, com os dados obtidos e a variação de valores da refletância e absorptância solar, que as amostras sofreram devido ao envelhecimento que sofreram durante o período de um ano. Não só realizou medições nas amostras envelhecidas como também realizou novas medições em 10 amostras novas e construídas pelo próprio.

O grande contributo que a campanha II deu neste tema foi a possibilidade de verificar que todas as amostras construídas na campanha I, de um ano para o outro, teriam diminuído o respetivo valor da refletância solar, exceto as amostras que continham pigmentos refletantes, os “cool pigments”, incluídos no seu revestimento final – estas mantiveram o seu valor.

As amostras que sofreram maior decréscimo de um ano para o outro foram o Wengué 0412 e o Castanho 0426, com valores a variarem de 0,23 para 0,15 e de 0,22 para 0,17, respetivamente.

No tratamento de dados relativos às medições obtidas do parâmetro da refletância solar, o desenvolvimento que irá ser realizado no capítulo 4, e que acrescenta algo ao que já foi desenvolvido e tratado pelas campanhas referidas, consiste num quadro onde é possível visualizar e comparar o desenvolvimento e variação dos valores obtidos ao longo de três anos de medições realizadas.

O maior contributo dado no tratamento de dados deste trabalho é a possibilidade analisar a durabilidade que é conferida aos sistemas através da adição de “cool pigments”, de primário ou de TiO₂ aos materiais constituintes das amostras.

É possível visualizar neste processo a evolução ao longo dos três anos que as amostras evidenciam no parâmetro da refletância, pois sistemas de isolamentos térmicos de fachadas pelo exterior, com revestimentos em que tenham valores de refletância solar mais elevados, são também aqueles aos quais é conferida uma maior durabilidade das qualidades do sistema.

3.3. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL

3.3.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Outro parâmetro avaliado e testado nas amostras que tenho à minha disposição para a realização desta dissertação é a temperatura superficial que cada uma das amostras atinge. Esta foi medida “*In Situ*” recorrendo a apenas um equipamento de medição e recolha de dados, o Mikromec Logger Multisens da marca Techenetics, que consegue recolher os dados da temperatura através de termopares do tipo T que estão ligados a este sistema de dados.

A metodologia de ensaio é a seguinte:

1. Colocar os termopares todos no interior de uma câmara climática a uma temperatura constante e igual a 23°C, instalá-los com o objetivo de verificar o correto funcionamento de todos eles e conseguir visualizar graficamente as variações e as discrepâncias de resultados de temperaturas medidas num clima controlado;
2. Estando os termopares a funcionar corretamente e com resultados próximos uns dos outros, procede-se a instalação dos mesmos numa das amostras apenas. Trata-se de um processo de confirmação que os termopares estão a funcionar devidamente e avaliar graficamente a variação das temperaturas superficiais em clima não controlado;
3. Sendo verificado o correto funcionamento dos termopares do Tipo T em ambiente não controlado, serão distribuídos dois termopares por cada amostra em análise, com o objetivo de obter o valor de temperatura superficial médio entre eles. Existindo apenas 16 termopares do tipo T ligados ao sistema de dados, só será possível medir 8 amostras em simultâneo.

3.3.2. INFRAESTRUTURA EXPERIMENTAL

Nesta dissertação, para além de se realizar medições de refletância solar nas amostras, serão também medidas as temperaturas superficiais de cada uma. Para tal, tornou-se necessário recorrer a aparelhos normalizados para o efeito, para diminuir a margem de erro e para que os resultados tivessem maior credibilidade. Decidiu-se então pela utilização de dispositivos de contacto, ou seja, termopares do tipo T que utilizam uma combinação de metais normalizada (Ligas de Cobre e Ligas de Costantan), ligados a um sistema de dados, o *datalogger*, da marca Technetics, com o nome de Mikromec Logger Multisens. Este aparelho servirá então para registar e guardar todas as medições de temperaturas superficiais.

Quadro 13 - Especificações dos termopares Tipo T (ASTM, 2012b)

Termopar	Intervalo de Temperaturas (°C)	Tolerância*
Tipo T	-184 a 0	$\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou $1.5\text{ \%}^{**}$
	0 a 370	$\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou $7.5\text{ \%}^{**}$

*Escolher o maior valor para cada intervalo de temperatura. Estas tolerâncias não incluem erros de sistema ou instalação.

**Porcentagem do valor da temperatura.



Figura 10 - Datalogger Mikromec Multisens com os termopares do tipo T ligados

O *datalogger* da Figura 10, como já foi referido, consegue armazenar os valores de temperatura superficial, no máximo de 8 amostras em simultâneo, ao longo do tempo e com intervalos de 10 em 10 minutos, pois foi assim que foi programado. Para além desta função, o aparelho possui um ecrã com algumas teclas, na parte frontal, que permite a consulta e verificação dos valores que estão a ser medidos naquele instante. Possui, ainda, as 16 entradas para os 16 termopares e, também, 1 entrada para fazer a conexão com um computador para realizar a extração dos valores obtidos.

3.3.3. TRATAMENTO DE DADOS

Um dos principais objetivos deste trabalho e de outros trabalhos já desenvolvidos, seguindo as mesmas diretrizes e com algumas aproximações ao tema do sistema Etics, onde foram ensaiadas amostras semelhantes, é seguramente o tratamento de dados que é realizado, através da análise que cada autor faz da recolha de dados das temperaturas superficiais que estão designadas a serem medidas.

No decorrer do processo experimental da campanha I, o autor conclui que os termopares do tipo K que estavam ligados ao sistema de aquisição de dados “HOBO 10776534” não dão valores próximos de outros termopares nem da temperatura da câmara climática e que os termopares do tipo T número 3 e 10, que se encontravam danificados, foram eliminados para uma melhor avaliação da temperatura superficial das amostras. Os restantes quatro termopares do tipo K, após colagem correta à superfície, apresentaram valores, na zona das temperaturas altas, que variam significativamente em relação aos do tipo T. Conclui optar por utilizar apenas os 15 termopares do tipo T para efetuar as medições das temperaturas superficiais das amostras em estudo.

Já na campanha II, o autor optou logo desde o início por utilizar apenas termopares do tipo T ligados a um *datalogger* da marca Technetics, designado por Mikromec Logger Multisens.

Na campanha I, a análise de tratamento de dados recolhidos, através dos termopares do tipo T, foi dividido em três etapas, pois só era possível efetuar medições em simultâneo em apenas oito amostras. De ressaltar que existiu um grupo de quatro amostras que se manteve ao longo do período de medições efetuado, com o objetivo de existir um termo de comparação entre os valores, pois as etapas foram realizadas em diferentes condições climatéricas e em dias diferentes.

Estes períodos de medições de temperatura superficial foram sempre acompanhados por uma análise gráfica do desenvolvimento do indicador medido pelos termopares durante o tempo de medição a que estiveram expostos ao clima exterior. Em cada gráfico foi adicionada a temperatura exterior medida na estação meteorológica do LFC/FEUP.

Na campanha I, escolheram-se quatro amostras, que permanecem nas três etapas de medição, com o objetivo de facultar a possibilidade de comparação entre os valores recolhidos. O autor recorreu a gráficos de frequência acumulada, onde no eixo das abcissas variam os valores consoante o indicador pretendido. O autor apresenta, assim, dois indicadores para o tratamento de dados da temperatura superficial, $T_{1,BC}$, onde foi adotado como termo de comparação a amostra com o acabamento final de cor Branco 0919, pois à partida seria a cor que atingiria menores temperaturas superficiais. Assim sendo, este indicador mostrou as amostras que atingiram maiores temperaturas que essa amostra de referência.

$$T_{1,BC} = T_{Amostra} - T_{Branco\ 0919} [^{\circ}C] \quad (9)$$

No outro indicador, $T_{2,BC}$, adotou-se duas amostras como termos de comparação, a amostra Branco 0919 e a amostra Preto 3500 – ETICS, como sendo as amostras que se esperavam que atingissem os menores e maiores valores de temperatura superficial respetivamente. Este indicador apenas avalia os valores da temperatura das medições no período diurno das 8:00 h às 20:00 h, pois, no período noturno, os valores das temperaturas registadas nas superfícies das amostras são muito próximos uns dos outros e poderia mesmo haver casos onde o denominador da fração do indicador seria igual a zero.

$$T_{2,BC} = \frac{T_{Amostra} - T_{Branco\ 0919}}{T_{Preto\ 3500-ETICS} - T_{Branco\ 0919}} [^{\circ}C] \quad (10)$$

No indicador $T_{1,BC}$, verificou-se uma diferença notável nos valores das amostras que permaneceram durante as três etapas: na 1ª etapa de medições, os valores deram muito inferiores, comparativamente

com os valores referentes às restantes etapas das respetivas amostras. No que diz respeito ao indicador T_{2,BC}, os valores das três etapas de medições já deram mais aproximados uns dos outros para as amostras de referência, tornando-se assim o indicador mais recomendável para comparação das amostras.

Na campanha II, usou-se apenas um indicador para o tratamento de dados obtidos em relação à temperatura superficial das novas amostras, pois o trabalho desenvolvido pelo mesmo surge na sequência do tratamento de dados que foi realizado na campanha I.

Como as amostras em que o autor desenvolveu as suas medições foram também usadas no desenvolvimento do trabalho posterior, o próprio optou por apenas usar o indicador que melhor resultado obteve. Esse indicador, o T_{2,BC}, denominado assim na campanha I, sofreu uma ligeira adaptação realizada na campanha II. Utilizou-se como amostra de referência o EPS3, em vez do Preto 3500-ETICS – esta alteração deveu-se ao facto de o autor pensar que tanto a amostra Branco 0919 como o EPS3, dentro do grupo de amostras que foram escolhidas para se manterem ao longo das três etapas de medições, seriam as que tinham a composição mais completa.

O autor denominou então o seguinte indicador como T_{1,MS}.

$$T_{1,MS} = \frac{T_{Amostra} - T_{Branco\ 0919}}{T_{EPS\ 3} - T_{Branco\ 0919}} [^{\circ}C] \quad (11)$$

A expressão do indicador de tratamento de dados recolhidos só é válida no horário das 9:24 h às 19:04 h, pois as diferenças entre as temperaturas superficiais de cada amostra, nesse período diurno, são notórias, ao contrário do período noturno em que os valores são mais aproximados uns dos outros, o que iria originar valores negativos ou nulos, tornando assim inviável a aplicação deste indicador no período noturno.

No tratamento de dados que será realizado no capítulo 4, o indicador utilizado, como ferramenta de comparação entre as diferentes amostras, é o mesmo indicador que foi usado na campanha II, pois do grupo de amostras herdadas, fazem todas parte do conjunto de amostras construídas anteriormente.

O trabalho desenvolvido tem como finalidade, em primeiro lugar, acrescentar uma análise diferente e com outra perspetiva, aos dados recolhidos durante os períodos de medições que foram realizados, nas anteriores campanhas. Agregando um ano de medições ao outro, é possível obter, um ciclo de reações, que as amostras em estudo têm, quando estão sujeitas à radiação solar e exposição climática, de dois anos completos. Torna-se assim possível analisar, todos os tipos de variações climáticas, a que um dia pode estar sujeito, seja um dia chuvoso, nebulado ou céu limpo, com temperatura ambiente alta ou baixa, e assim comparando estas variáveis com os diferentes desenvolvimentos que as amostras revelam, quando estão submetidas por exemplo, a um longo período de chuva, a um dia com temperaturas sejam mais altas ou mais baixas, ou seja, é possível realizar um tratamento de dados que consiste, numa comparação de indicadores, como a radiação solar global, a temperatura ambiente exterior e a pluviosidade, e daí retirar possíveis conclusões sobre os gráficos de desenvolvimento das temperaturas superficiais.

Para além desta análise realizada às amostras de anos anteriores, serão realizadas novas medições nas amostras envelhecidas.

Com os dados obtidos pelas medições efetuadas, em 2018, nas amostras já envelhecidas, será aplicado o indicador que está presente na fórmula (11), esse indicador servirá de meio de comparação transversal a todas as amostras. Pelo facto de serem medidos valores de temperaturas superficiais, em amostras que sofreram algumas dois, outras um ano, de envelhecimento, torna-se possível acrescentar conclusões

sobre a durabilidade dos diferentes sistemas, e conclusões sobre os efeitos da inclusão de materiais como os “cool pigments” e o TiO₂, nas composições das amostras de sistemas Etics e reboco térmico.

3.4. ENSAIO DE CALIBRAÇÃO DOS TERMOPARES

Neste trabalho um dos principais objetivos práticos é conseguir medir a temperatura superficial das amostras quando estas estão expostas à radiação solar.

Como forma de simplificação, nesta dissertação optou-se por testar os termopares diretamente, em nível não controlado de condições climáticas, ou seja, no processo de metodologia experimental referente à temperatura superficial, passou-se diretamente para o segundo passo, onde foi escolhido uma amostra para instalar todos os 16 termopares, essa amostra foi o sistema EPS 3. Como é demonstrado na Figura 11, a colocação destes termopares foi realizada com a colagem dos termopares do tipo T, nas superfícies em questão com recurso a cola quente, no dia 14/05/2018. A partir daí teria de se obter um ciclo representativo e conclusivo, das medições dos termopares, e que fundamentalmente não existisse, nesse ciclo, uma grande disparidade nos valores recolhidos.

Os valores recolhidos dos 16 termopares do tipo T, estão representados no gráfico da Figura 12.

O principal objetivo desta etapa, é verificar se é possível utilizar todos os termopares do tipo T, que estão disponíveis, para efetuarem as medições das temperaturas superficiais das amostras.

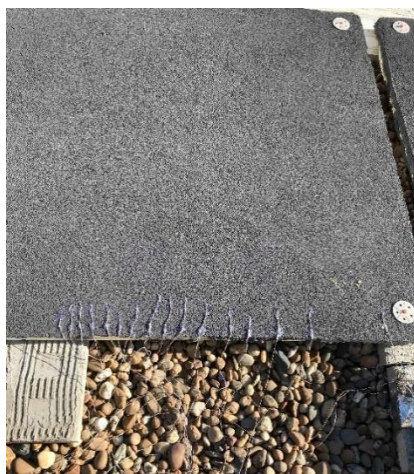


Figura 11 - Calibração dos Termopares na amostra EPS3

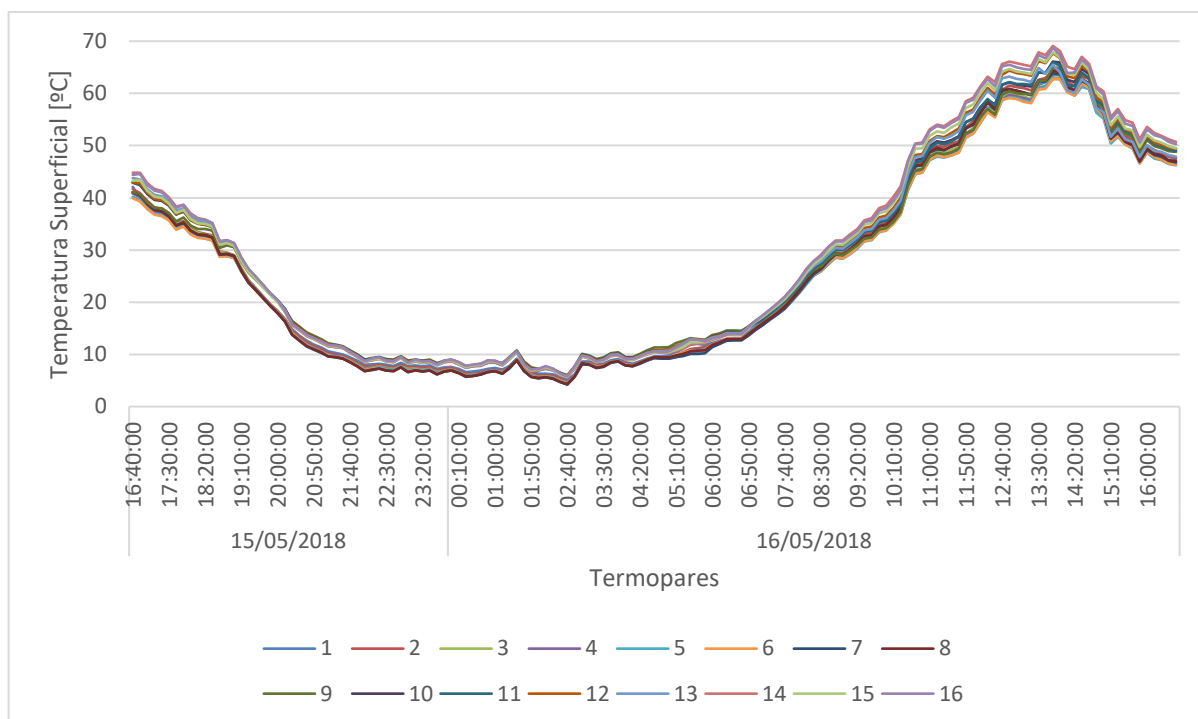


Figura 12 - 1ª Calibração dos termopares

Os valores da Figura 12 foram obtidos após uma correta colagem de todos os termopares disponíveis para medição, na amostra EPS 3. Estes registos de dados foram obtidos entre os dias 15/05/2018 e 16/05/2018, logo em primeira análise consegue-se verificar que todos os termopares estão a funcionar devidamente, e que nenhum deles sofreu qualquer tipo de anomalia, como descolagem ou disparidade total na leitura de dados.

No entanto existe alguma distância dos valores registados das temperaturas superficiais, sendo mais significativo no pico máximo de radiação solar e, consequentemente também no pico máximo de temperatura exterior. No pico mínimo, ou seja, no período noturno, já existe uma maior aproximação dos valores registados pelo datalogger.

Outra conclusão que é possível retirar nestes dados é o facto de os primeiros oito termopares registarem sempre, em todos os instantes, valores inferiores aos valores dos termopares do número 9 ao 16. Pensa-se que esta diferença de medições, esteja associada ao próprio sistema de aquisição de dados, o datalogger da marca Technetics com o nome de Mikromec Logger Multisens, pois neste sistema existem 16 entradas analógicas que estão divididas em duas filas de 8, e constata-se que os termopares dão valores aproximados consoante a fila em que estejam ligados, ou seja, os termopares da fila do 1 ao 8, apresentam valores inferiores, mas semelhantes, do que em relação aos valores registados pela outra fila de termopares, do 9 ao 16, onde os valores são também eles semelhantes e próximos entre si, mas superiores aos outros valores registados nos restantes termopares.

Posto isto, surgiu a necessidade de recorrer a um fator corretivo, para os primeiros oito termopares. Para se determinar esse fator de correção, começou-se por calcular os valores médios das temperaturas medidas na superfície, por cada um dos termopares em análise. Esses valores estão representados no Quadro 14.

Quadro 14 – Valores médios das temperaturas superficiais, medidos pelos termopares do tipo T, colocados na amostra EPS3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
26,7	26,9	26,4	26,1	26,0	26,0	26,3	26,5	27,6	28,2	28,0	28,5	28,1	29,1	28,6	29,1

Tendo como fundamentação o Quadro 14, para os termopares do número 1 ao 8 regista-se um valor médio igual a 26,36 °C, para os termopares do número 9 ao 16 regista-se um valor médio igual a 28,28 °C.

O fator de correção escolhido a ser adicionado aos primeiro oito, registos de termopares, é então o valor da diferença entre os valores médios registados (F.C.=28,38–26,36), de valor igual a 2,02, aproximadamente 2 °C.

Através da análise aos gráficos dos desvios padrões, da Figura 13, Figura 14 e Figura 15, onde estão presentes os valores dos desvio padrão, em cada instante que foi realizada a medição, ou seja de dez em dez minutos, demonstra assim em todos os instantes de medição, qual foi a dispersão dos valores registados pelos 16 termopares, simultaneamente. O desvio padrão trata-se de uma variável estatística que avalia a dispersão dos valores registados, numa amostra que segue uma distribuição normal.

É possível também através da análise dos três gráficos, que com a adição de um fator corretivo de 3 °C, representado no gráfico da Figura 15, em vez de 2 °C, representado no gráfico da Figura 14, o intervalo de valores que o desvio padrão atinge é menor, ou seja, a amostra torna-se assim menos dispersa.

Posto isto, o fator corretivo para posteriores análises gráficas de temperaturas superficiais, com o recurso à utilização destes termopares, terá o valor de 3°C adicionais, aos valores registados pelo sistema de dados, para os termopares que estejam inseridos nas entradas analógicas do 1 ao 8.

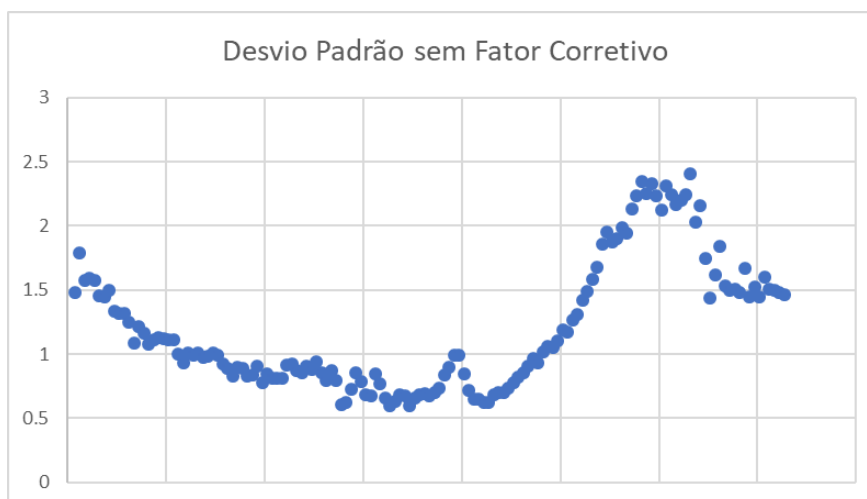


Figura 13 - Gráfico do desvio padrão das medições dos termopares tipo T, do 1 ao 16, sem fator corretivo

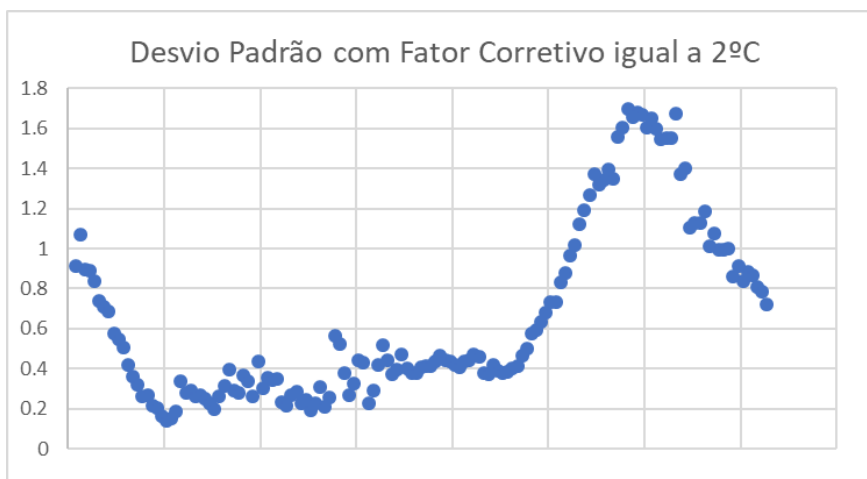


Figura 14 - Gráfico do desvio padrão das medições dos termopares tipo T, do 1 ao 16, com fator corretivo igual a 2°C

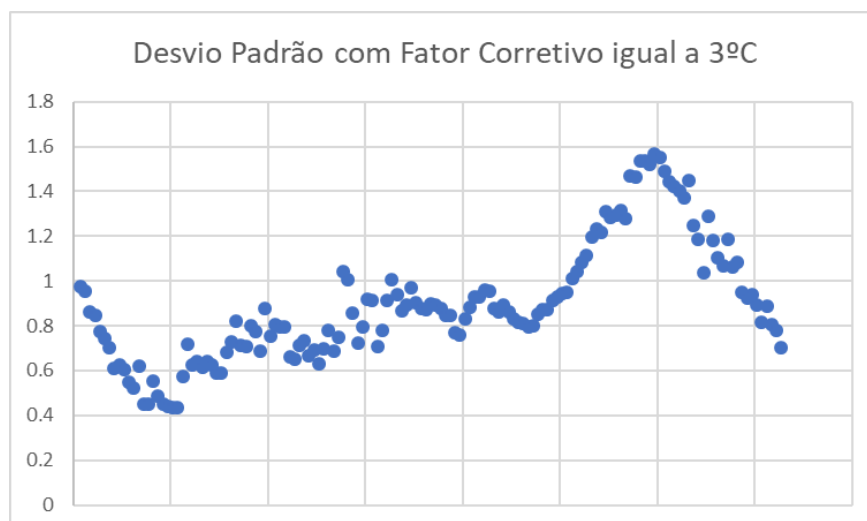


Figura 15 - Gráfico do desvio padrão das medições dos termopares tipo T, do 1 ao 16, com fator corretivo igual a 3°C

Como é demonstrado na Figura 16 posso concluir que, os valores registados da temperatura superficial estão efetivamente mais próximos uns dos outros, ou seja, pela análise também da diferença entre os gráficos dos desvios padrões, onde o intervalo de valores da variável estatística passa de $[0,5; 2,5]$, na Figura 13, a $[0,4; 1,6]$, na Figura 15, tornando-se assim num intervalo mais estreito de resultados, traduzindo-se assim numa leitura de valores da temperatura superficial mais aproximados uns dos outros, no conjunto dos 16 termopares.

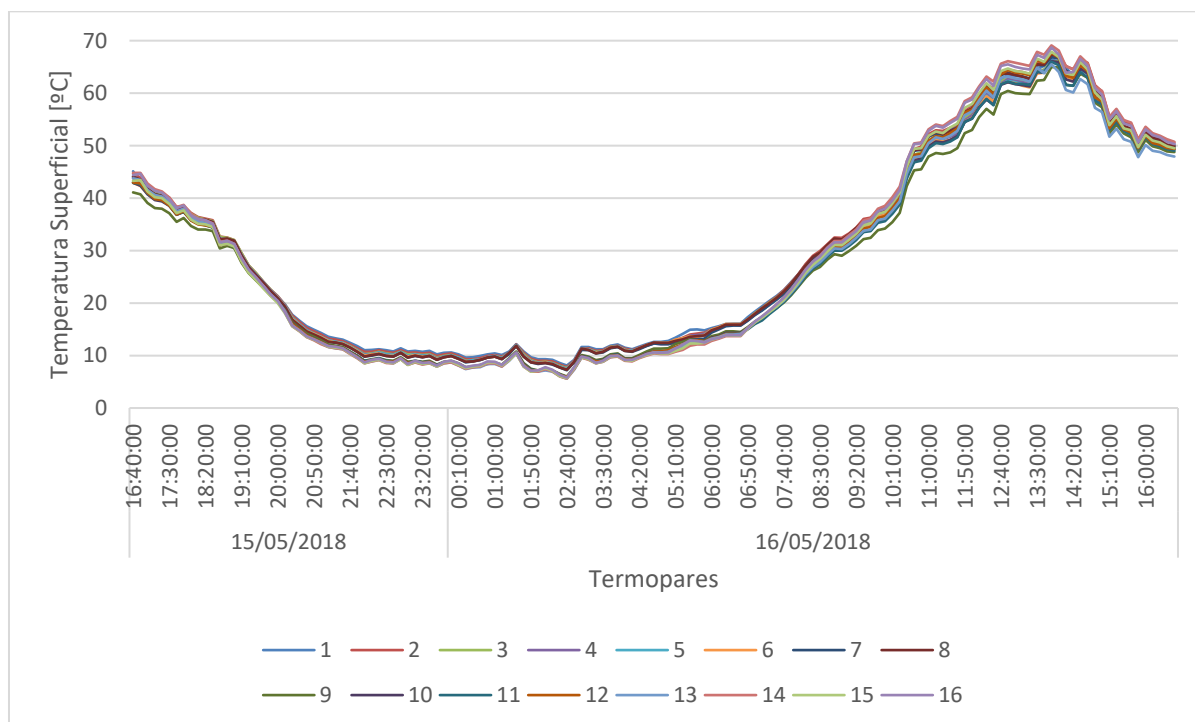


Figura 16 - Calibração dos termopares com o Fator Corretivo

3.5. DISPOSIÇÃO DAS AMOSTRAS

Tanto nos ensaios de medição da refletância solar, como nos da medição da temperatura superficial a disposição que as amostras se encontravam, é a que está discriminada na Figura 17.

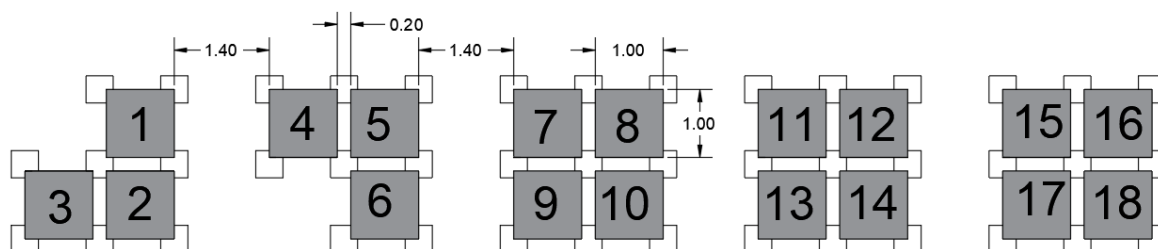


Figura 17 - Disposição das amostras sujeitas a medições "In Situ", tanto nos ensaios de refletância solar como de temperatura superficial

Legenda da Figura 17, para uma melhor compreensão da disposição das amostras, que serão alvo de estudo e medições, sendo que a sua disposição não se altera ao longo dos ensaios efetuados:

1. Fr 2.
2. Fr 1.
3. Fr 3.
4. AQ 1.
5. EPS 6.
6. EPS 1.
7. Preto 3500 – Reboco Térmico.
8. Preto 3500 - ETICS.
9. Preto 3500 – Reboco Térmico com “cool pigments”.
10. Preto 3500 – ETICS com “cool pigments”.
11. AQ 3.
12. Branco 0919.
13. EPS 3.
14. AS 3.
15. EPS 7.
16. EPS 4.
17. EPS 5.
18. EPS 2.

4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. REFLETÂNCIA SOLAR

As medições dos valores de refletância solar, foram realizadas nas amostras já envelhecidas e construídas para as dissertações de mestrado referentes à campanha I e II. O objetivo da realização destas medições é então comparar os valores das amostras no ano de construção, e depois ao longo do seu envelhecimento. As medições da refletância solar “*In Situ*” foram realizadas de acordo com o método alternativo E 1918A pormenorizado anteriormente.

A escolha dos dias para realizar o trabalho prático de medições esteve dependente do estado climatérico adequado à sua execução. Era essencial ter um dia com o céu completamente limpo, sem qualquer tipo de nuvem passageira, ou neblina, e o ângulo de incidência da radiação solar com a normal da superfície teria de ser inferior a 45°.

Nos dias 4, 15 e 18 de maio de 2018 foi possível reunir todas as condições favoráveis à realização do trabalho de medição. Para garantir o ângulo de incidência correto as medições foram realizadas entre as 10:30 e as 15:00 h.

No Quadro 15 em baixo apresentado, é possível visualizar os valores obtidos no ensaio experimental de medição da refletância solar no ano de 2016, 2017 e atualmente realizadas no ano 2018. Com a análise destes valores de refletância solar é importante obter a variação dos valores que estas amostras sofreram, pois são estes valores que demonstram a durabilidade e resiliência que determinadas amostras apresentam para contrariar o desgaste normal devido ao envelhecimento das mesmas.

Os valores de refletância solar para cada amostra, expressam um valor que advém de uma média de 3 medições efetuadas para cada uma, sendo que, e, cada uma dessas medições é registado um conjunto de valores intermédios (I_H , I_1 , I_2 , I_3 , e I_H'), estes valores encontram-se registados nas fichas de ensaio experimental, que estão no Anexo I.

Os valores utilizados e adotados para a absorptância solar das máscaras preta e branca estão indicados no Quadro 15.

Quadro 15 – Quadro síntese das refletâncias solares das 3 campanhas e respetivas variações

Amostras	Absortâncias adotadas para as máscaras				
	$\alpha_{\text{preto}} = 0.9$				
	$\alpha_{\text{branco}} = 0.1$				
	Junho 2016 Campanha I	Abril 2017 Campanha II	Variação Percentual (2016-2017)	Maio 2018 Campanha III	Variação Percentual (2017-2018)
	Refletância Solar (ρ)	Refletância Solar (ρ)	(%)	Refletância Solar (ρ)	(%)
EPS 1	-	0,25	-	0,25	0,0
EPS 2	-	0,23	-	0,23	0,0
EPS 3	-	0,25	-	0,23	-8,0
EPS 4	-	0,11	-	0,12	9,1
EPS 5	-	0,21	-	0,22	4,8
EPS 6	-	0,12	-	0,12	0,0
EPS 7	-	0,30	-	0,35	16,7
AQ 1	-	0,25	-	0,24	-4,0
AQ 3	-	0,25	-	0,21	-16,0
AS 3	-	0,25	-	0,24	-4,0
Branco 0919	0,73	0,62	-15,1	0,61	-1,6
Preto 3500- Reboco Térmico	0,12	0,12	0,0	0,11	-8,3
Preto 3500- Reboco Térmico “cool pigments”	0,27	0,27	0,0	0,22	-18,5
Preto 3500- ETICS	0,12	0,12	0,0	0,12	0,0
Preto 3500- ETICS “cool pigments”	0,27	0,27	0,0	0,27	0,0
Fr 1 (EPS 8F)	-	0,35	-	0,31	-11,4
Fr 2 (EPS 9F)	-	0,29	-	0,27	-6,9
Fr 3 (EPS 7F)	-	0,13	-	0,13	0,0
Pastel 0839	0,66	0,60	-9,1	-	-
Azul 1774	0,56	0,51	-8,9	-	-
Verde 1436	0,41	0,37	-9,8	-	-
Tijolo 0555	0,36	0,34	-5,6	-	-
Vermelho 0444 – “cool pigments”	0,34	0,34	0,0	-	-
Vermelho 0444	0,31	0,31	0,0	-	-
Wengué 0412	0,23	0,15	-34,8	-	-
Castanho 0426	0,22	0,17	-22,7	-	-

Com o objetivo de clarificar a análise das medições do Quadro 15, elaborou-se um gráfico de barras para obter graficamente a comparação das refletâncias solares entre 2016, 2017 e 2018, esse gráfico está presente na Figura 18.

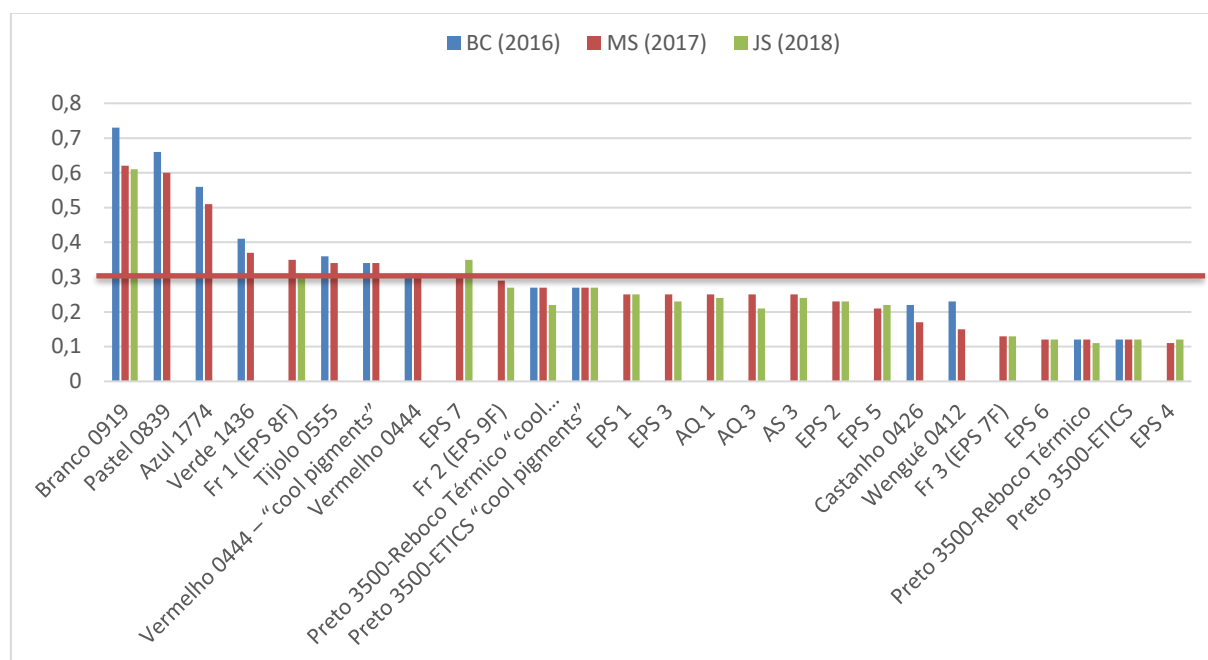


Figura 18 - Comparação dos valores de Refletância Solar das amostras envelhecidas

Através da análise dos resultados da refletância solar das amostras envelhecidas é possível concluir o seguinte:

- A razão para a qual alguns dos valores de refletância solar aumentarem, deve-se ao facto das amostras terem ficado mais claras durante o ano que estiveram expostas às intempéries e condições climáticas que decorreram ganhando, portanto, uma maior capacidade de refletância;
- Segundo a norma Francesa dtu 26.1 p1-2, o valor mínimo para a refletância solar é de 0,3, torna-se assim possível perceber quais são as amostras que têm maior risco de sofrer fissuração na superfície;
- A amostra Branco 0919 é a que tem maior valor nas três campanhas de medições
- Dentro das amostras com cor de acabamento Preto 3500, a única que apresenta valores acima dos 0,3 é a EPS 7;
- É possível concluir que as amostras que têm como suporte as placas de EPS são mais estáveis do que em relação às que contêm reboco térmico;
- As amostras EPS 1, EPS 6 mantém os seus valores de um ano para o outro, as amostras com a mesma composição, o Preto 3500-ETICS "cool pigments" e o Preto 3500-ETICS respetivamente, mantêm os seus valores ao longo dos dois anos de exposição;
- A refletância solar na maior parte das amostras diminui de um ano para o outro, como seria de esperar, devido à acumulação de sujidade e afins;

- Relativamente às amostras cujo suporte se trata de placas de betão leve (Aquaroc) é possível concluir que a amostra que continha o primário e “cool pigments”, AQ 3 obteve um decréscimo maior do valor da sua refletância solar relativamente à amostra AQ 1 que na sua constituição em tudo são semelhantes exceto que esta não contém primário e “cool pigments”;
- As amostras denominadas por EPS 4, 5 e 7 aumentaram os seus valores de refletância solar de um ano para o outro;
- As amostras denominadas por EPS 3, AQ 1 e 3, AS 3, Preto 3500 – Reboco Térmico e Preto 3500 – Reboco Térmico “cool pigments” diminuíram os seus valores de refletância solar de um ano para o outro;
- Os valores mais baixos estão associados às amostras EPS 6 e EPS4, excluindo as amostras mais antigas do Bruno (2016), com valores de 0.12 para ambas.

4.2. MEDIÇÕES DO CIELAB

A presente campanha de medições (III) tem o seu desenvolvimento sustentado nas anteriores já realizadas, como tal a análise à variação de cor que existiu ao longo destes 3 anos será explícita neste subcapítulo. O ensaio em questão trata-se de medir nas amostras, os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* , com o auxílio de um espectrofotómetro. Os valores que estão presentes no Quadro 16 foram obtidos pelos representantes da empresa Weber-Saint Gobain, que se disponibilizaram a ir à FEUP, local onde se encontram as amostras. E posteriormente esses dados foram disponibilizados para efeitos de estudo. Todos os parâmetros apresentados no Quadro 16 encontram-se devidamente explicados no subcapítulo 2.2.3.

Quadro 16 - Medições do $L^*a^*b^*$ durante as 3 campanhas

Amostras	Campanhas	L	a	b	ΔE
EPS 1	I	-	-	-	-
	II	35,0	0,4	-2,3	-
	III	34,7	0,1	-1,0	1,41
EPS 2	I	-	-	-	-
	II	33,9	0,9	-2,1	-
	III	33,3	0,6	-1,1	1,24
EPS 3	I	-	-	-	-
	II	34,1	0,7	-2,0	-
	III	33,5	0,5	-1,4	0,93
EPS 4	I	-	-	-	-
	II	33,4	0,1	-1,0	-
	III	33,3	-0,2	0,0	1,04
EPS 5	I	-	-	-	-
	II	22,9	2,0	1,5	-
	III	23,1	1,7	2,0	0,61
EPS 6	I	-	-	-	-
	II	34,0	-0,2	-1,5	-
	III	33,9	-0,1	0,0	1,54
EPS 7	I	-	-	-	-
	II	39,7	2,2	0,5	-
	III	49,7	1,7	2,1	10,12

AQ 1	I	-	-	-	-
	II	34,4	0,6	-2,3	-
	III	34,5	0,5	-1,2	1,14
AQ 3	I	-	-	-	-
	II	34,4	0,7	-2,2	-
	III	33,9	0,6	-1,0	1,35
AS 3	I	-	-	-	-
	II	34,5	0,7	-2,1	-
	III	32,7	0,7	-1,2	2,01
Branco 0919	I	88,5	1,0	3,1	-
	II	79,7	1,0	7,4	9,81
	III	75,9	2,6	8,6	13,90
Preto 3500 - RT	I	33,4	0,5	-1,4	-
	II	33,7	0,4	0,2	1,61
	III	33,9	0,0	1,1	2,58
Preto 3500 – RT “cool pigments”	I	35,2	1,2	-2,3	-
	II	35,0	0,9	-0,4	1,98
	III	34,0	0,4	-0,8	1,97
Preto 3500 - ETICS	I	33,4	0,5	-1,4	-
	II	34,53	0,57	0,40	2,14
	III	34,73	0,10	0,73	2,56
Preto 3500 – ETICS “cool pigments”	I	35,2	1,2	-2,3	-
	II	35,43	0,9	-1,03	1,35
	III	36,07	0,07	-1,60	1,51
Fr 1 (EPS 8F)	I	-	-	-	-
	II	38,0	2,2	1,6	-
	III	38,2	2,5	2,7	1,16
Fr 2 (EPS 9F)	I	-	-	-	-
	II	37,2	0,5	0,7	-
	III	37,7	0,6	2,6	1,97
Fr 3 (EPS 7F)	I	-	-	-	-
	II	36,7	0,6	1,5	-
	III	37,0	1,0	3,5	2,00
Pastel 0839	I	84,2	0,1	23,8	-
	II	76,9	1,1	20,1	8,27
	III	75,2	0,4	19,9	9,85
Azul 1774	I	73,1	-30,6	-0,6	-
	II	69,5	-23,2	2,1	8,64
	III	67,5	-22,1	3,4	7,56
Verde 1436	I	63,2	-12,6	9,3	-
	II	62,1	-9,6	10,0	3,26
	III	61,3	-9,8	10,9	2,43
Tijolo 0555	I	47,9	25,4	25,0	-
	II	47,3	23,4	23,9	2,29
	III	45,6	22,6	22,8	3,47
Vermelho 0444 “cool pigments”	I	38,7	28,4	17,8	-
	II	38,8	26,4	17,1	2,19

Vermelho 0444	III	39,8	22,8	16,2	4,87
	I	38,9	30,7	19,6	-
	II	37,8	29,3	18,0	2,34
	III	36,6	27,5	16,7	4,42
Wengué 0412	I	35,9	6,6	6,1	-
	II	36,2	7,1	7,1	1,19
	III	36,5	6,1	6,3	1,01
	I	46,9	16,3	14,5	-
Castanho 0426	II	46,5	15,9	14,9	0,67
	III	45,6	14,7	14,0	1,96

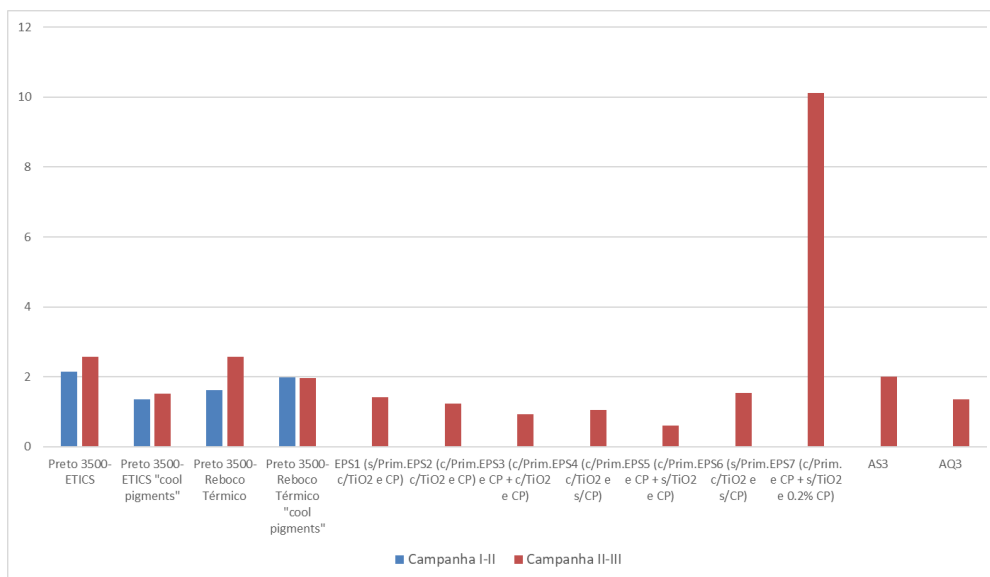


Figura 19 Variação da Cor (ΔE)

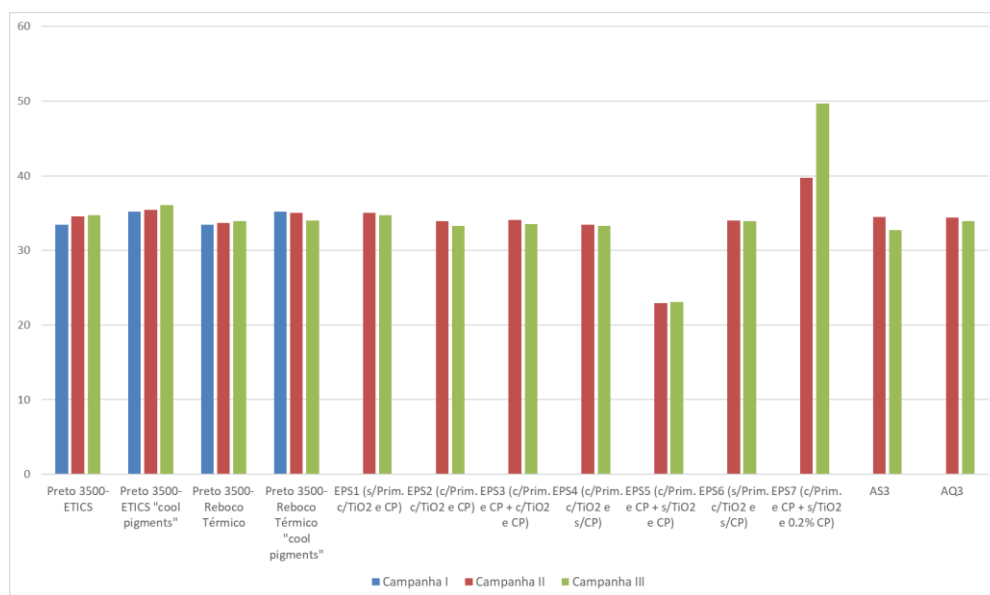


Figura 20 - Variação do parâmetro L

Nota:

RT – Reboco Térmico

Algumas das conclusões possíveis de se retirar sobre a análise do Quadro 16, da Figura 19 e Figura 20 são:

- As amostras com maior variação da cor foram o Branco 0919 e o EPS 7, de salientar que a amostra EPS 7 tem como cor de revestimento final, o Preto 3500, que é o posto do revestimento Branco 0919;
- Do grupo de amostras EPS, só o 5 e o 7 é que aumentaram os valores do parâmetro L^* , logo as amostras ficaram mais claras;
- Como as amostras EPS 5 e EPS 7 são as únicas que não têm TiO_2 na sua constituição, posso concluir que o facto de os sistemas de isolamento térmico pelo exterior, quando não contêm TiO_2 na sua composição ficam mais claras ao longo do tempo;
- As restantes amostras EPS como diminuíram o seu valor no parâmetro destinado à luminosidade, L^* , tornaram-se amostras um pouco mais escuras.
- As amostras Preto 3500 – Reboco Térmico e Preto 3500 – ETICS, ao fim de 3 anos de medições obtêm diferenças de cor superiores do que as mesmas amostras com “cool pigments”, ou seja, a presença dos “cool pigments” faz com que a amostra mantenha mais tempo a sua cor de origem;
- A amostra AS 3 teve uma variação de temperatura de cerca do dobro em relação à EPS 3;
- As amostras com reboco térmico como isolante térmico têm tendência a que o valor da variação de cor, seja superior àquelas que têm como isolamento térmico o EPS (poliestireno expandido);
- Do grupo das amostras que foram construídas durante a campanha I, as cores que obtiveram maior variação foram o Pastel 0839 e o Azul 1774, tanto uma como a outra amostra tornaram-se mais escuras, em relação à cor de origem;
- Do grupo de amostras francesas obtiveram todas variações ligeiras e pouco perceptíveis ao olho humano;
- A amostra que apresenta o menor valor de variação de temperatura é a EPS 5, comparando neste caso com a EPS 7, a primeira amostra como tem maior quantidade de “cool pigments” a sua cor não se alterou tanto como a segunda;

4.3. MEDIÇÕES DA TEMPERATURA SUPERFICIAL

Assim sendo irão se utilizar todos os termopares possíveis para um sistema de dados, já que todos se encontram a funcionar corretamente. Como foi referido anteriormente, de seguida irá ser realizado o 3^a passo, onde os termopares serão divididos pelas amostras em estudo.

A distribuição dos termopares terá de ter em conta o facto observado no teste de calibração dos mesmos, onde foi possível verificar que os primeiros oito termopares davam sempre valores inferiores aos restantes, para combater e contrariar a influência desse possível erro futuro de medição foi acrescentado um fator corretivo de valor 3°C e relativamente à distribuição dos termopares existiu uma preocupação, em que ficasse em cada amostra um termopar do primeiro grupo de oito, e outro termopar do segundo grupo de oito. Na realidade, nem sempre foi possível ter um termopar de cada grupo na mesma amostra devido ao pequeno comprimento de alguns deles, nomeadamente dos termopares 14 e 15.

Tendo em conta os termopares disponíveis as amostras que estarão presentes nas medições das temperaturas superficiais são:

- **1ª Etapa** – Amostras: Branco 0919, EPS1, EPS2, EPS3, EPS4, EPS5, EPS6 e EPS7.

Só se tornou possível a realização, de apenas uma etapa de medições da temperatura superficial “*In Situ*”, devido ao estado mete reológico que ocorreu no mês de Junho de 2018, onde não seria conclusivo retirar resultados com temperaturas exteriores baixas, ou até mesmo com dias chuvosos.

Sendo assim, optou-se por apenas realizar uma etapa de medição e comparar os indicadores T₁, da campanha II e III.

Através da análise das amostras disponíveis para serem efetuadas medições, teve que se decidir quais delas seriam usadas na única medição efetuada. De referir também que tem que estar presentes as amostras que servem de referência no desenvolvimento e obtenção do indicador T₁, amostras essas que são o Branco 0919 e o EPS3, pois tratam-se das amostras que foram utilizadas na campanha II, e para representar da melhor maneira possível, a evolução do indicador T₁, ao longo de um ano de envelhecimento, as amostras escolhidas como referência continuam as mesmas.

Os propósitos que levaram à escolha das amostras, para a etapa de medições foram:

- **1ª Etapa** – As amostras anteriormente apresentadas como escolhidas, para se realizar a medição das temperaturas superficiais nesta etapa, tiveram como objetivo em juntar as amostras todas de sistema ETICS construídas pelo Miguel Sá (2017), para verificar em comparação da amostra EPS1 com EPS2 a influência do primário, para verificar em comparação da amostra EPS1 e EPS6 a influência dos “cool pigments”, também é possível retirar uma conclusão sobre os “cool pigments” comparando as amostras EPS2 e EPS4, é possível também retirar conclusões sobre a adição de “cool pigments” à camada de primário ou então só adicionar estes pigmentos no revestimento final do sistema comparando as amostras EPS2 e EPS3.

A **1ª Etapa** deu-se início no dia 17/05/2018 por volta das 13:00 h, e terminou o período de medições, com a obtenção dos dados através da ligação com o datalogger, no dia 25/05/2017 às 10:10 h.

É apresentado de seguida o gráfico da Figura 21, com os valores registados de temperatura superficial em cada uma das amostras que foram escolhidas, relativamente a fazerem parte da primeira etapa de medições. Estes valores das temperaturas superficiais foram obtidos através do registo de valores, que os termopares realizaram, nas oito amostras. A temperatura ambiente apenas foi registada entre os dias 19/05/2018 e 22/05/2018, pois foi o período de tempo onde é possível uma melhor caracterização do ciclo de comportamento, que as amostras tiveram naquele período de tempo. Os valores da temperatura ambiente foram registados pela estação meteorológica do LFC/FEUP.

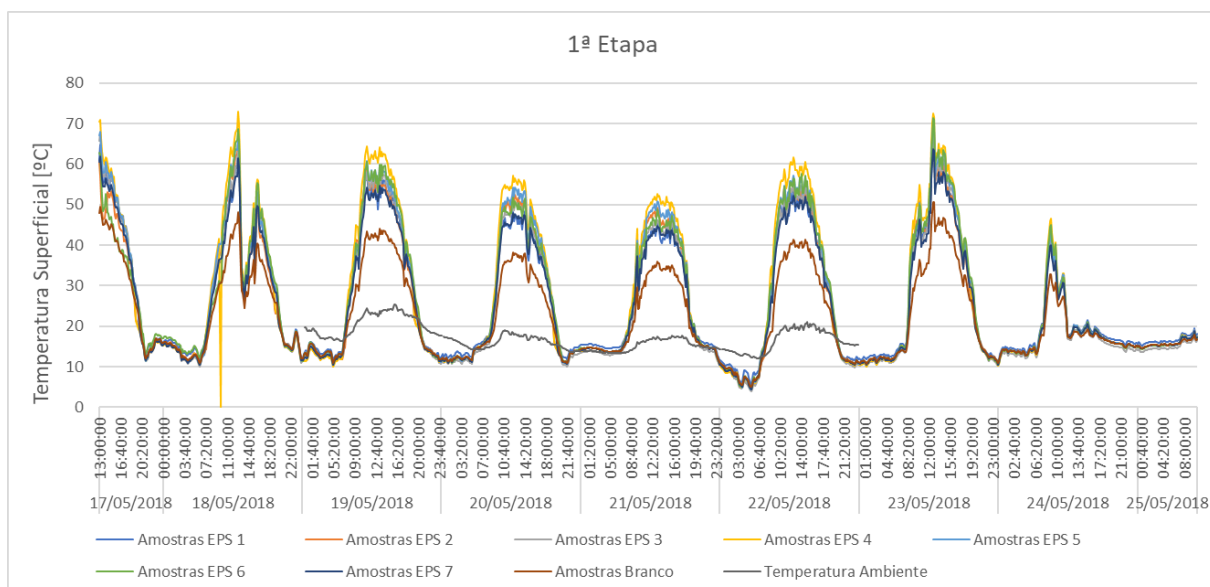


Figura 21 - Valores de Temperatura Superficial das amostras e Temperatura Ambiente, obtidos "In Situ", de dia 17 a 25 de Maio de 2018

Pela análise do gráfico da Figura 21, conclui-se que o período que melhor representava o comportamento e desenvolvimento das temperaturas superficiais, no período medido das amostras, seria entre os dias 19/05/2018 a 22/05/2018. Como é apresentado no gráfico da Figura 22, onde é possível visualizar a estratificação das amostras medidas em simultâneo.

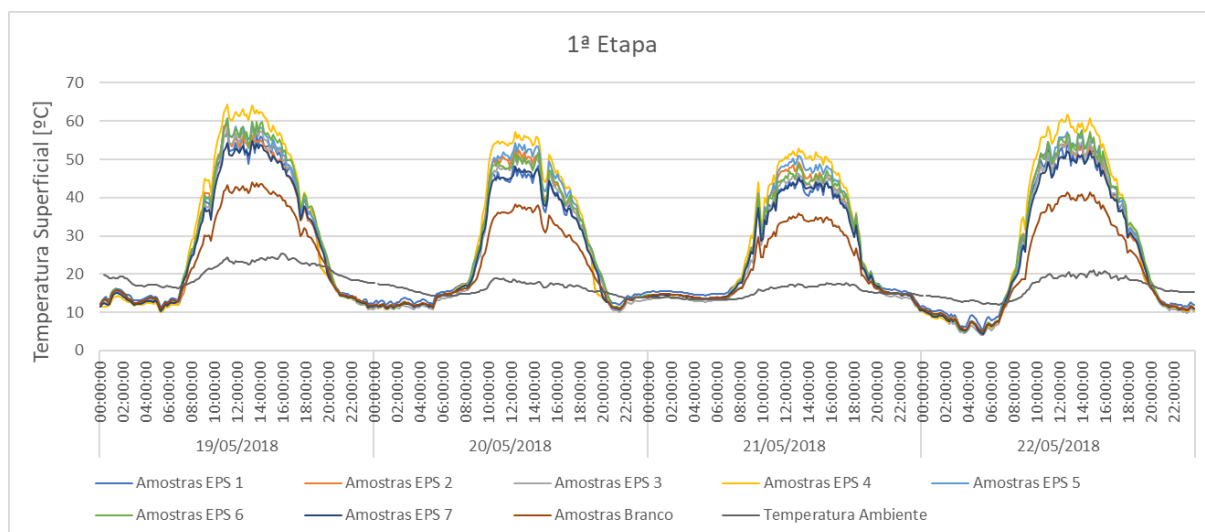


Figura 22 - Valores de Temperatura Superficial das amostras e Temperatura Ambiente, obtidos "In Situ", de dia 19 a 22 de Maio de 2018

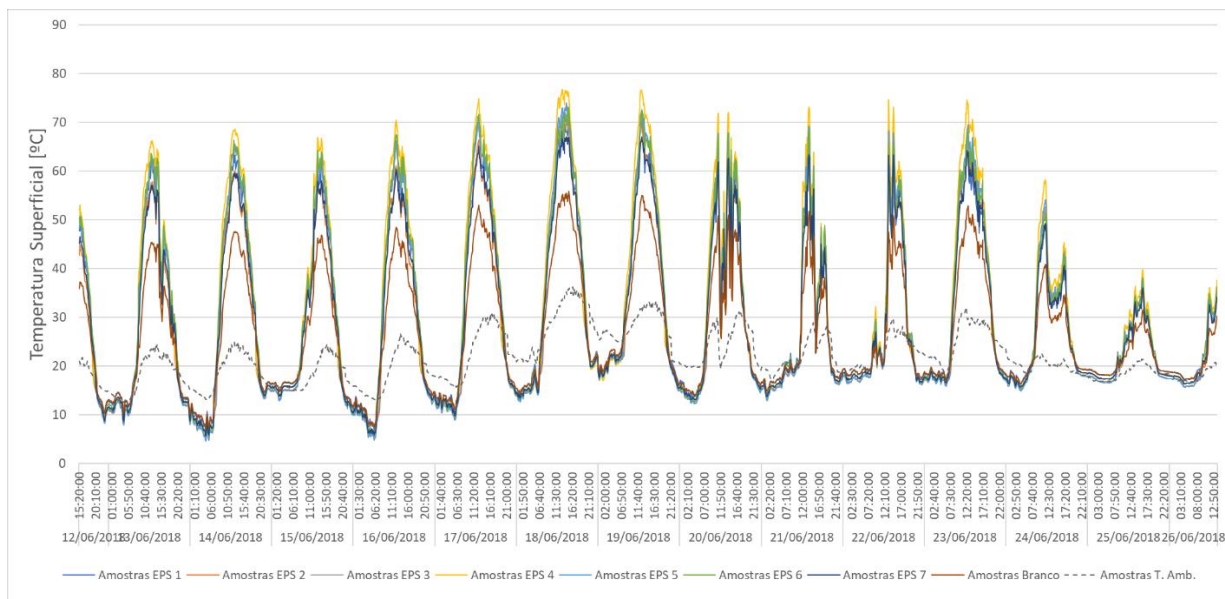


Figura 23 - Valores de Temperatura Superficial das amostras e Temperatura Ambiente, obtidos "In Situ", de dia 12 a 26 de Junho de 2018

Surgiu então a necessidade de se realizar a comparação entre as amostras que foram medidas. Em resposta a tal necessidade surge então, um indicador que permita a comparação de todas as amostras, tal como na campanha II, onde se usou as amostras, Branco 0919 e o EPS3, também será usado as mesmas amostras como referência para estabelecer uma comparação. Os gráficos utilizados são de frequência acumulada, onde o eixo das abcissas, toma os valores da fórmula 11.

De referir também que esta expressão só se torna viável durante o dia, como referido anteriormente, ou seja só podem ser contabilizados os dados referentes ao período diurno entre as 8:30 h e as 19:00 h, pois este é o período do dia onde os valores do indicador T_1 , não dão valores nulos ou negativos, logo, a diferença de temperaturas é significativa e a exposição à radiação solar incidente também.

De seguida é então apresentado o gráfico de frequências acumuladas referentes às amostras da primeira etapa, tendo por base o indicador T_1 . Para além dos valores, do indicador em questão, que foram calculados este ano, 2018, também estão presentes os valores do mesmo indicador, calculados na campanha II, em 2017, ou seja, as amostras obtiveram um ano de envelhecimento, como é possível identificar na legenda do gráfico da Figura 24.

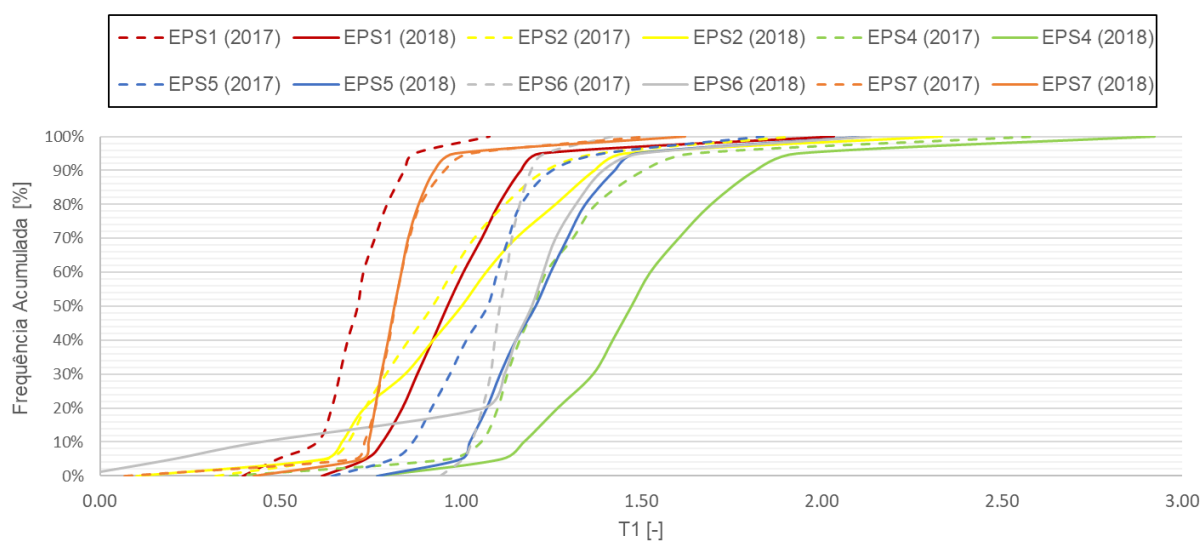


Figura 24 - Gráfico de frequência acumulada referente ao indicador T_1 na primeira semana de medições

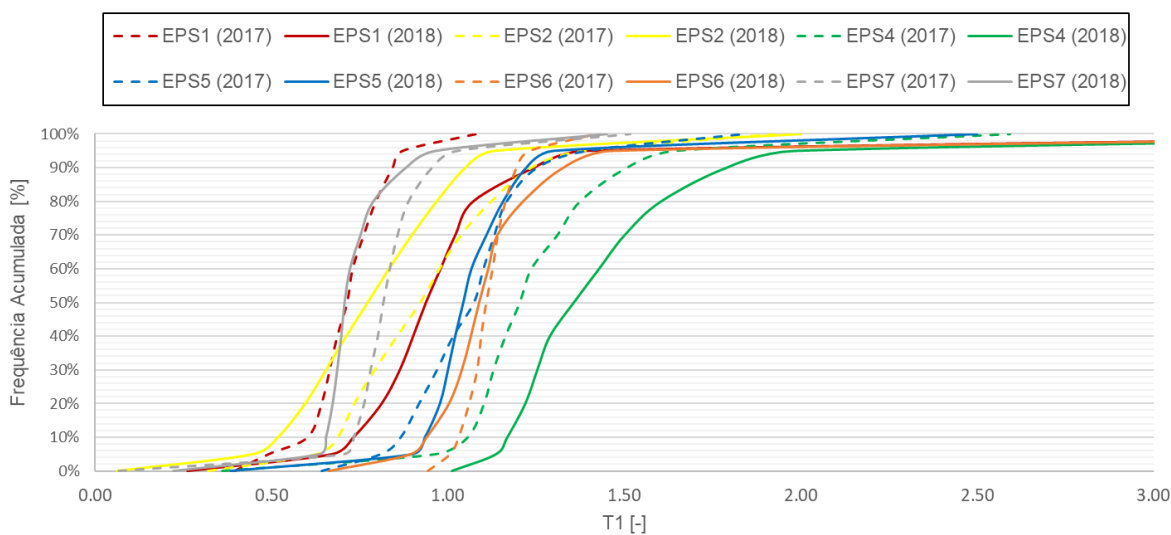


Figura 25 - Gráfico de frequência acumulada referente ao indicador T_1 na segunda semana de medições

Os valores do percentil de 50%, referentes às amostras da primeira etapa, são apresentados no seguinte Quadro 17.

Quadro 17 - Valores do percentil 50% referentes ao indicador de comparação T_1

	EPS1		EPS2		EPS4		EPS5		EPS6		ES7	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
$T_{1, 50\%}$	0,71	0,96	0,92	1,00	1,20	1,47	1,07	1,21	1,11	1,20	0,82	0,82

Com os resultados obtidos na **1ª etapa**, relativamente aos gráficos da Figura 21 e Figura 22, com o particular interesse de analisar e visualizar o dia 19/05/2018, pois trata-se do dia que atingiu maior temperatura exterior, é possível concluir que:

Durante o período diurno:

- As amostras que atingiram valores de temperatura superficial, constantemente mais elevadas, foram as amostras EPS 4 e EPS 5;
- As amostras EPS 2 e EPS 3, registaram valores muito próximos entre si, e dentro do grupo de amostras ensaiado, posteriormente às amostras referidas no ponto anterior, tratam-se das amostras que atingem valores de temperatura superiores;
- Dentro do grupo de amostras do sistema ETICS que foram testadas, com o revestimento final de cor Preto 3500, a amostra que atingiu valores mais baixos de temperatura superficial foi a amostra EPS 7.

Durante o período noturno:

- Os valores das amostras, relativamente ao período diurno, apresentam resultados mais próximos uns dos outros, sem existir a estratificação das amostras muito devido à ausência do parâmetro da radiação solar global;
- As amostras que apresentam valores mais elevados são o EPS 1 (sem primário e com “cool pigments”) e o Branco 0919;
- Por outro lado, a amostra que atinge valores mais baixos é a amostra EPS 3 (com primário e cool pigments”, presentes no primário e revestimento final);
- Existe um período em que as temperaturas das amostras são superiores à temperatura ambiente, esse período é entre as 22:00 h do dia 20/05/2018 e as 5:00 h do dia 21/05/2018, nesse intervalo de valores verifica-se uma particularidade que apenas a amostra EPS 3 mantém os valores da temperatura superficial abaixo dos valores registados da temperatura exterior. Isto para comprovar que a amostra EPS 3, nos ciclos noturnos tem sempre temperaturas inferiores às restantes.

Em relação ao gráfico de frequências acumuladas que está representado na Figura 24, é possível concluir que:

- A amostra referência utilizada neste indicador é o EPS 3;
- Amostras como EPS 4, o EPS 5 e o EPS 6, apresentam valores do indicador ($T_{1, 50\%}$) superiores à unidade, logo atingem temperaturas superficiais superiores à amostra de referência;
- As amostras EPS 1 e EPS 7, apresentam valores do indicador ($T_{1, 50\%}$) inferiores à unidade, logo atingem temperaturas superficiais inferiores à amostra de referência;
- A amostra EPS 2 apresenta um valor igual à unidade, o que traduz uma proximidade muito grande de valores registados entre essa mesma amostra e a amostra de referência;
- As amostras que sofreram um maior afastamento entre os indicadores registados, nos diferentes anos de medições, foram o EPS 1 e o EPS 4;
- O afastamento dos indicadores medidos de 2017 e 2018, traduz-se num aumento do valor de um ano para o outro, devido ao desgaste e envelhecimento das amostras, onde se pode concluir que tais amostras onde isto se verifica têm maior tendência a atingirem temperaturas superficiais superiores;

- As amostras que sofreram um menor acréscimo do valor do indicador são o EPS 2 e o EPS 6;
- Relativamente à amostra EPS 7, é possível verificar que o seu indicador no percentil de 50%, não sofre alterações, o que permite concluir que a nível de durabilidade pode vir a ser o sistema mais sustentável.

No Quadro 18 é possível observar as temperaturas superficiais máximas, que foram medidas “*In Situ*”, durante as três campanhas, para além disso é identificado a temperatura ambiente exterior respetiva. Estes resultados são muito influenciados pelas condições climatéricas, como irá ser descrito ao longo deste documento, tanto com a temperatura exterior como a radiação solar e entre outros indicadores, que numa situação ideal de comparação se manteriam constantes, ao longo das medições, ou então teria que ser possível medir, todas as amostras em simultâneo.

Quadro 18 – Temperaturas superficiais máximas atingidas e respetivas temperaturas exteriores

Amostras	Campanha I			Campanha II			Campanha III (1ª semana)			Campanha III (2ª semana)		
	Temp. Superficial Máxima [°C]	Temp. Exterior [°C]	Radiação Solar Global [W/m²]	Temp. Superficial Máxima [°C]	Temp. Exterior [°C]	Radiação Solar Global [W/m²]	Temp. Superficial Máxima [°C]	Temp. Exterior [°C]	Radiação Solar Global [W/m²]	Temp. Superficial Máxima [°C]	Temp. Exterior [°C]	Radiação Solar Global [W/m²]
Preto 3500-Reboco Térmico	76,5	34,9	831,0	68,7	28,6	864,0	-	-	-	-	-	-
Preto 3500-ETICS	75,6	34,9	831,0	67,4	25,0	796,0	-	-	-	-	-	-
Preto 3500-Reboco Térmico “cool pigments”	71,1	34,9	831,0	64,3	28,6	864,0	-	-	-	-	-	-
Preto 3500-ETICS “cool pigments”	68,2	34,9	831,0	60,8	25,0	796,0	-	-	-	-	-	-
Branco 0919	49,0	34,9	831,0	57,5	37,0	874,0	50,6	24,7	959,0	55,8	36,2	977,0
EPS 1	-	-	-	58,9	25,0	796,0	68,0	24,7	959,0	71,1	36,2	977,0
EPS 2	-	-	-	72,1	35,6	902,0	66,4	24,7	959,0	70,1	36,2	977,0

EPS 3	-	-	-	73,1	37,0	874,0	67,8	24,7	959,0	71,7	36,2	977,0
EPS 4	-	-	-	77,2	35,6	902,0	72,5	24,7	959,0	76,8	36,2	977,0
EPS 5	-	-	-	75,6	35,6	902,0	69,9	24,7	959,0	74,0	36,2	977,0
EPS 6	-	-	-	65,1	25,0	796,0	71,3	24,7	959,0	73,1	36,2	977,0
EPS 7	-	-	-	69,9	35,6	902,0	63,6	24,7	959,0	67,0	36,2	977,0
AQ 1	-	-	-	56,8	28,6	864,0	-	-	-	-	-	-
AQ 3	-	-	-	66,7	37,0	874,0	-	-	-	-	-	-
AS 3	-	-	-	72,95	37,0	874,0	-	-	-	-	-	-
Pastel 0839	43,15	28,8	810,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Azul 1774	51,3	28,8	810,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Verde 1436	57,4	28,8	810,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tijolo 0555	60,6	29,1	880,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vermelho 0444 – “cool pigments”	66,5	34,9	831,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vermelho 0444	70,5	34,9	831,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wengué 0412	68,0	29,1	880,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Castanho 0426	66,3	29,1	880,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fr 1 (EPS 8F)	-	-	-	66,6	37,0	874,0	-	-	-	-	-	-
Fr 2 (EPS 9F)	-	-	-	69,7	37,0	874,0	-	-	-	-	-	-
Fr 3 (EPS 7F)	-	-	-	73,7	37,0	874,0	-	-	-	-	-	-

Mesmo assim é ainda possível retirar algumas conclusões sobre o Quadro 18:

- O sistema que atinge maiores temperaturas em todas as campanhas é o EPS 4;
- O sistema que atinge menores temperaturas é o Branco 0919;
- No grupo de amostras que usam o sistema ETICS, como isolante térmico, a que atinge temperaturas mais baixas é a EPS 7.

Relacionando as medições da refletância solar (Quadro 15), do parâmetro $L^* a^* b^*$ (Quadro 16) e das temperaturas superficiais máximas (Quadro 18), para as 3 campanhas, serão tiradas as seguintes conclusões:

Preto 3500-ETICS “cool pigments” vs Preto 3500-ETICS (Influência dos “cool pigments”)

- Em relação à diferença de cor, ΔE , o valor é superior na amostra sem “cool”, onde o valor é igual a 2,56 em comparação ao da amostra com “cool” que é igual a 1,51;
- O parâmetro L^* na amostra com “cool” é igual a 36,07 e é superior ao valor registado pela amostra sem, que é igual a 34,73. Logo é possível concluir que a amostra é mais clara com a adição dos “cool pigments”;
- O valor de ρ , refletância solar, é superior na amostra com os pigmentos, com valor igual a 0,27 em relação à outra que atinge 0,12;
- Quando a temperatura exterior é igual a 34,9 °C, na campanha I, a diferença de temperatura superficial entre a amostra sem e a amostra com “cool pigments”, é de 7,4 °C, quando a temperatura exterior é de 25 °C, na campanha II, a diferença entre as mesmas amostras, é de 6,6 °C, ou seja, a adição de “cool pigments” consegue diminuir cerca de 7 °C nas superfícies que usem placas de EPS e cor de revestimento Preto 3500.

Preto 3500-Reboco Térmico “cool pigments” vs Preto 3500-Reboco Térmico (Influência dos “cool pigments”)

- O ΔE , tal como nas amostras anteriores, é mais perceptível nas sem “cool”, o valor da variação de cor é de, 1,97 para a amostra com “cool” e 2,58 para a que não tem pigmentos;
- O parâmetro L^* , nas amostras com reboco térmico tem tendência aos valores aproximarem-se, sendo que a amostra com “cool” vai ficando mais escura e a outra mais clara;
- O valor de ρ nestas duas amostras desceu na campanha II, para a amostra com “cool” desceu 18,5 %, para a amostra sem “cool” desceu 8,3 %, atingindo valores de 0,22 e 0,11 respetivamente;
- Quando a temperatura exterior é igual a 34,9 °C, na campanha I, a diferença de temperatura superficial entre a amostra sem e a amostra com “cool pigments”, é de 5,35 °C, quando a temperatura exterior é de 25 °C, na campanha II, a diferença entre as mesmas amostras, é de 4,4 °C, ou seja, a adição de “cool pigments” consegue diminuir cerca de 5 °C nas superfícies que usem reboco térmico e cor de revestimento Preto 3500;
- No que respeita ao envelhecimento, este sistema teve mais variações a nível de diferença de cor e refletâncias solares, de uma campanha para a outra, por isso leva a concluir que o sistema ETICS é mais durável que o sistema com reboco térmico.

EPS 1 vs EPS 2 (Influência do Primário)

- O ΔE é inferior na amostra EPS 2 (com primário);

- O parâmetro L^* é superior na EPS 1 (sem primário) e igual a 34,7, na amostra com primário o valor é igual a 33,3. Logo a amostra sem primário tem a cor mais clara;
- O valor de ρ é superior na EPS 1 (sem primário) e igual a 0,25, do que na EPS 2 (com primário) que é igual a 0,23. O primário tem um efeito negativo nestas amostras, diminuindo assim o coeficiente de refletância solar;
- Quando a temperatura exterior é igual a 24,4 °C, na campanha III, a diferença de temperatura superficial máxima, entre a amostra sem e com primário é de 1,6 °C, o que não se traduz num valor expressivo, ou seja, o uso do primário não imprime um decréscimo da temperatura superficial tão grande como é o caso do incremento de pigmentos;

EPS 1 vs EPS 6 (Influência dos “cool pigments”)

- O ΔE é inferior na amostra EPS 1 (com cool);
- O parâmetro L^* é superior na amostra EPS 1 (com cool), e igual a 34,7, do que em relação à amostra EPS 6 (sem cool), que toma o valor de 33,9. Logo, a adição de “cool pigments” torna as superfícies mais próximas da cor branca, como foi possível verificar na análise anterior, entre o Preto 3500-ETICS “cool pigments” e o Preto 3500-ETICS;
- O valor de ρ é superior na amostra EPS 1 (com cool) e igual a 0,25, já em relação à amostra EPS 6 (sem cool) o valor é igual a 0,12;
- Quando a temperatura exterior é de 25 °C, na campanha II, a diferença entre as amostras sem e com pigmentos é de 6,2 °C e quando estão no exterior 24,4 °C, na campanha III, a diferença é de 3,3 °C;
- Na campanha III a diferença entre temperaturas foi inferior que na campanha II.

EPS 2 vs EPS 3 (Influência da quantidade de “cool pigments”)

- Ambas as amostras têm “cool pigments” no revestimento final, mas a EPS 3 tem também no primário;
- O ΔE é superior na amostra EPS 2 (1,24), que na EPS 3 (0,93), ou seja, quanto maior for a quantidade de “cool pigments” nas amostras menor será a sua variação da cor ao longo dos anos;
- O parâmetro L^* é relativamente parecido nas duas amostras sendo que a que tem mais pigmentos (EPS 3) é um pouco superior, logo, mais clara;
- O valor de ρ na campanha III deu valores iguais para as duas amostras, de 0,23;
- Quando estão no exterior 24,4 °C, na campanha III, a diferença de temperaturas máximas entre a EPS 3 e a EPS 2 foi de 1,4 °C, o que não é um valor assim tao significativo;
- Concluindo então que a presença de “cool pigments” na camada de primário, acrescenta poucas melhorias a nível de durabilidade nos sistemas com placas de EPS.

EPS 4 vs EPS 7 (Amostras com maior e menor temperatura superficial, respetivamente)

- O ΔE é muito superior na amostra EPS 7 (10,12), em relação à EPS 4 (1,04), a variação de cor da amostra EPS 7 é perfeitamente visível;
- O parâmetro L^* é muito superior na amostra EPS 7, pois é igual a 49,7, do que em relação à amostra EPS 4 que é igual a 33,3, estes valores refletem uma clara diferença de cor, demonstrando que a amostra mais clara é a EPS 7;

- O valor de ρ tanto de uma amostra como de outra aumentam;
- Quando a temperatura exterior é igual a 30,4 °C, na campanha II, a diferença entre temperaturas superficiais máximas, entre EPS 4 e 7 foi de 7,3 °C e na campanha III, quando estiveram 24,4 °C de temperatura exterior, a diferença foi de 8,9 °C;
- Na diferença entre estas duas amostras, o parâmetro que mais se destaca é a diferença entre os respetivos L^* , pois o EPS 7 com a adição dos “cool pigments” e sem TiO₂, demonstra uma cor muito mais clara, e como tem mais pigmentos refletantes, o seu ρ é superior a todas as restantes amostras EPS.

EPS 3 vs EPS 5 (Influência do TiO₂)

- O ΔE é mais pequeno na amostra EPS 5 (sem TiO₂), as amostras sem este pigmento não variam tanto a cor de um ano para o outro;
- O parâmetro L^* é superior na amostra EPS 3 (34,1), do que na EPS 5 (22,9), logo é possível afirmar que a amostra EPS 5 (sem TiO₂) é mais escura;
- Da II para a III campanha, a amostra EPS 3 (com TiO₂) ficou mais escura ao contrário da outra que ficou mais clara;
- O valor de ρ da campanha II para a III, tem comportamentos diferentes, na EPS 3 (com TiO₂) o valor diminui 8 %, na EPS 5 (sem TiO₂) aumenta 4,8 %, as amostras sem TiO₂ têm tendência a aumentar o seu coeficiente de refletância solar ao contrário das outras, muito devido também ao facto de a amostra ter ficado mais clara;
- Mesmo assim na campanha III o valor de ρ é superior na amostra EPS 3 (com TiO₂);
- Quando a temperatura exterior é de 24,4 °C, na campanha III, a diferença de temperaturas máximas entre a EPS 5 e EPS 3 é de 2 °C;
- O efeito dos pigmentos TiO₂ faz então descer as temperaturas superficiais das amostras.

EPS 3 vs AS 3 vs AQ 3 (Influência do Suporte)

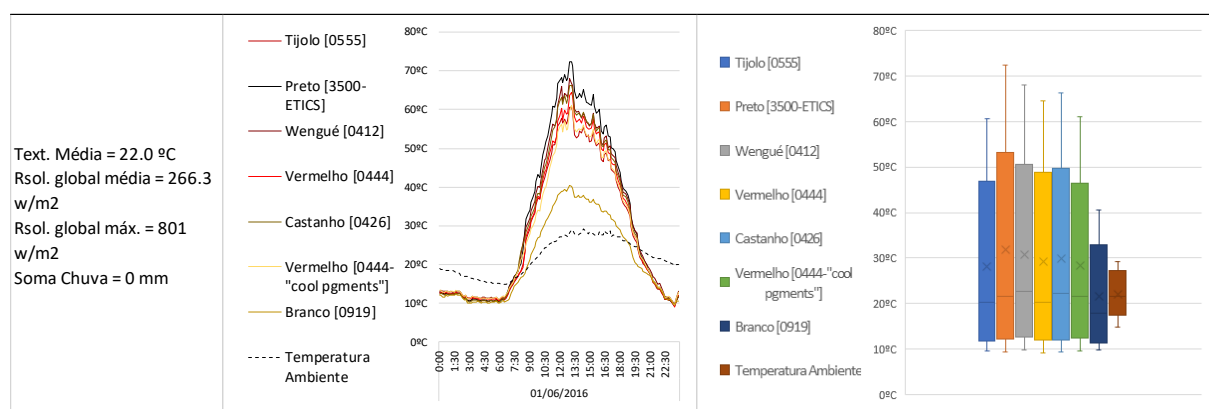
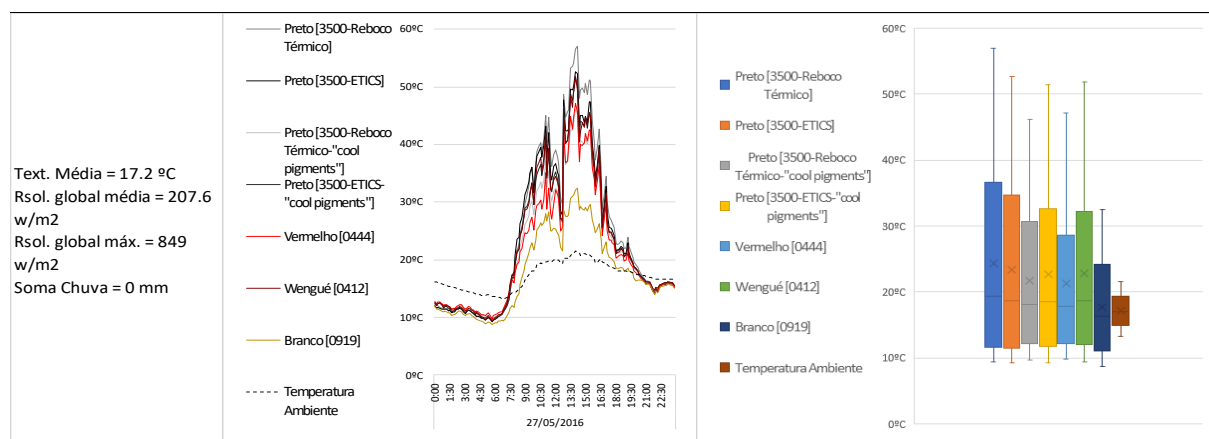
- O ΔE é mais pequeno na amostra EPS 3, portanto é a que consegue manter a cor durante mais tempo;
- O parâmetro L^* aumenta apenas na amostra EPS 3 tonando-a assim mais clara, enquanto que nos outros suportes as amostras baixam este valor tornando-se assim mais escuras;
- O valor de ρ , na campanha II, é igual e todas as amostras a 0,25, na campanha III, a amostra que atinge o menor valor é a AQ 3, que é igual a 0,21;
- Quando a temperatura exterior é igual a 37 °C, na campanha II, tanto a EPS 3 como a AS 3 atingem temperaturas muito altas, a rondar os 73 °C, enquanto que a AQ 3 atinge 66,7 °C, o que perfaz uma diferença de 6,3 °C;
- Nas amostras com isolamento térmico (AS 3 e EPS 3), mesmo apresentando valores de refletância solar mais elevados, atingem temperaturas superficiais cerca de 6 °C, acima dos valores atingidos num sistema tradicional de construção de fachadas (AQ 3).

4.4. TIPIFICAÇÃO DE CICLOS DIÁRIOS DA TEMPERATURA SUPERFICIAL

No seguinte subcapítulo, o tema abordado é as medições da temperatura superficial realizadas na Campanha I e II. O principal objetivo desta análise, é ter conhecimento dos antecedentes desenvolvimentos e registos de temperaturas, que cada uma das amostras teve, para assim criar uma tipificação dos ciclos diários, dependendo de fatores do ambiente exterior. Este conhecimento permitirá tirar conclusões, sobre a maneira como as amostras reagem num determinado estado climatérico.

Serão então analisados os gráficos e os dados obtidos através das medições, já efetuadas, nas campanhas anteriores. Os gráficos obtidos para análise desses dados contêm três componentes, a primeira relativa a alguns indicadores como por exemplo, temperatura exterior média (Text. Média), radiação solar global média (Rsol. Global média), radiação solar global máxima (Rsol. Global máxima) e por fim, a Soma da Pluviosidade ocorrida (Soma Chuva). Na segunda parte desta análise, encontra-se um gráfico representativo do desenvolvimento, de cada amostra e da temperatura ambiente daquele período. Na terceira componente de análise, estão os gráficos de caixas de bigode onde é possível obter uma análise gráfica e uma compreensão visual mais rápida, de onde se situam os limites superiores e inferiores de cada uma das amostras.

A escolha dos gráficos teve em conta, aqueles que seriam melhores a nível de representatividade dos diferentes desenvolvimentos consoante diferentes estados climáticos.



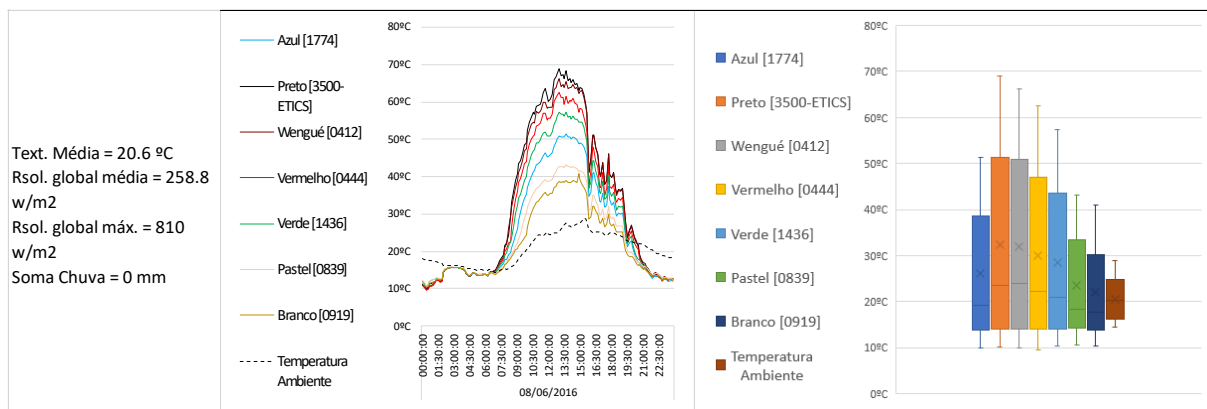


Figura 28 - Análise da Ts do dia 08/06/2016

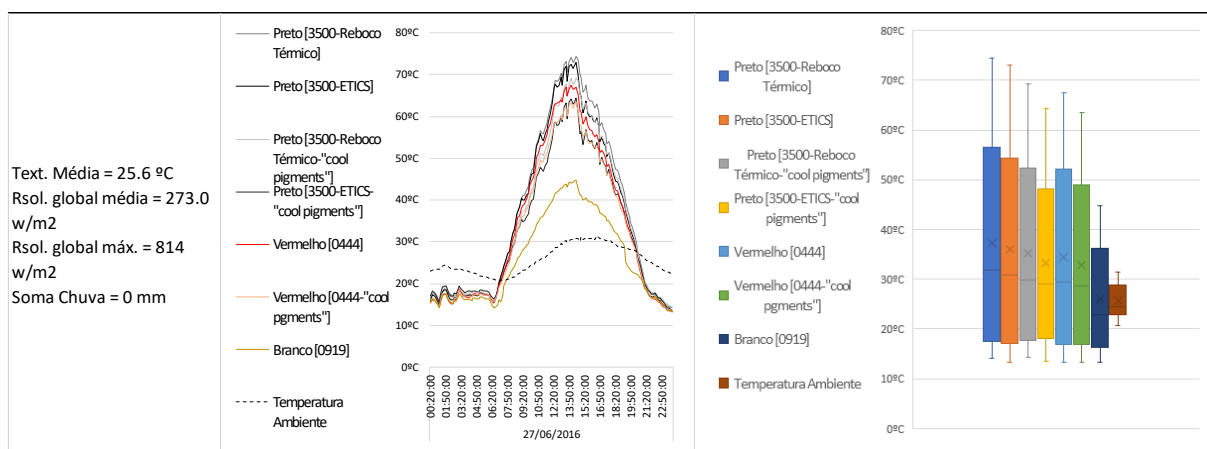


Figura 29 - Análise da Ts do dia 27/06/2016

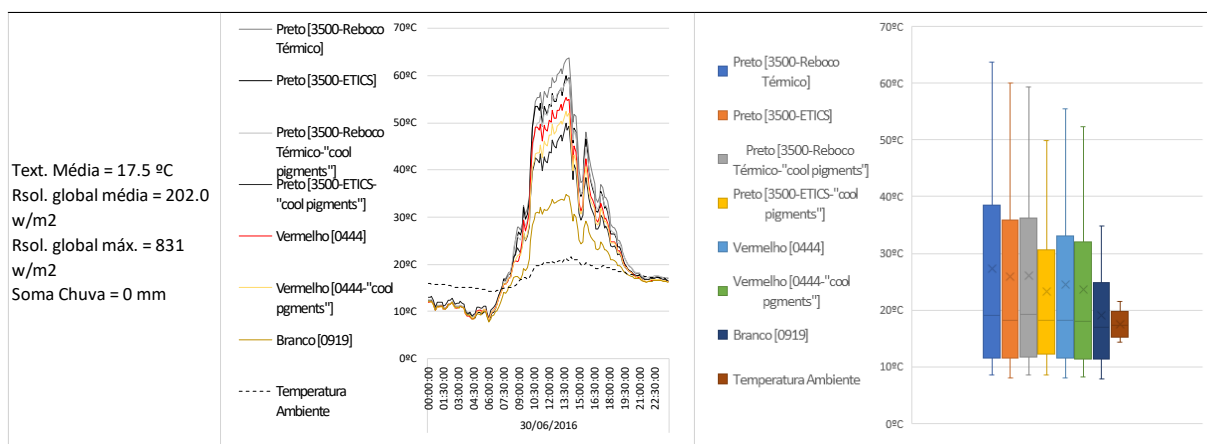


Figura 30 - Análise da Ts do dia 30/06/2016

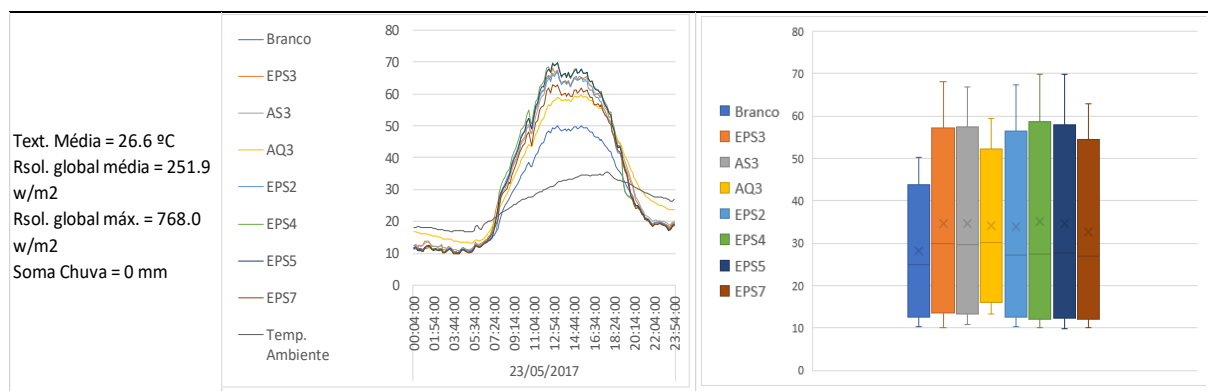


Figura 31 - Análise da Ts do dia 23/05/2017

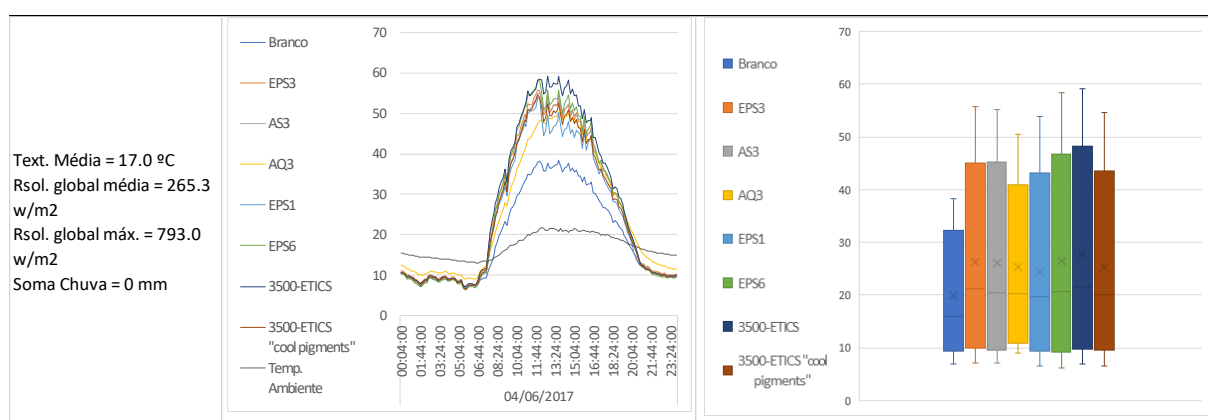


Figura 32 - Análise da Ts do dia 04/06/2017

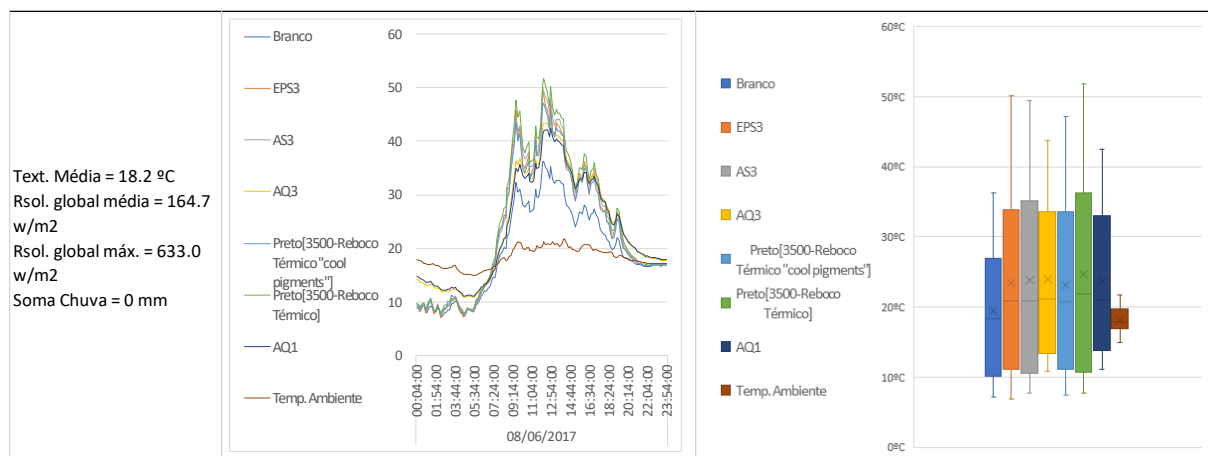
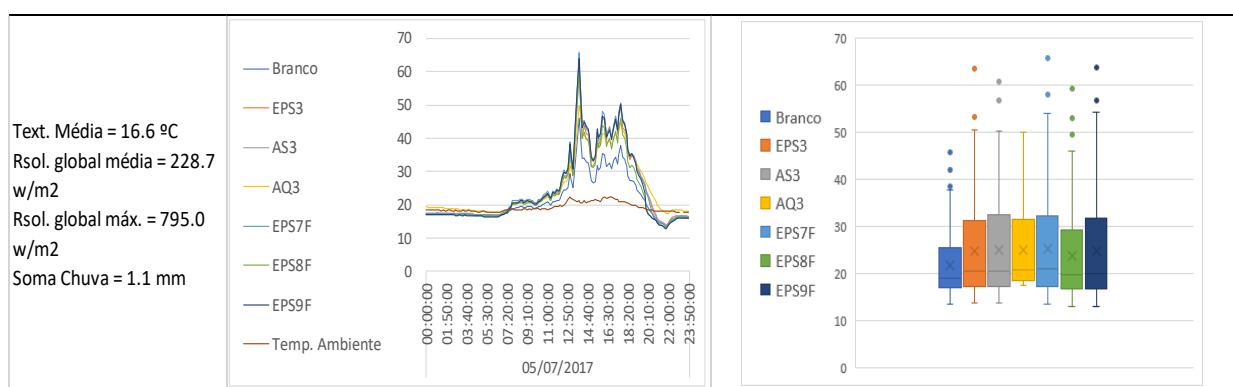
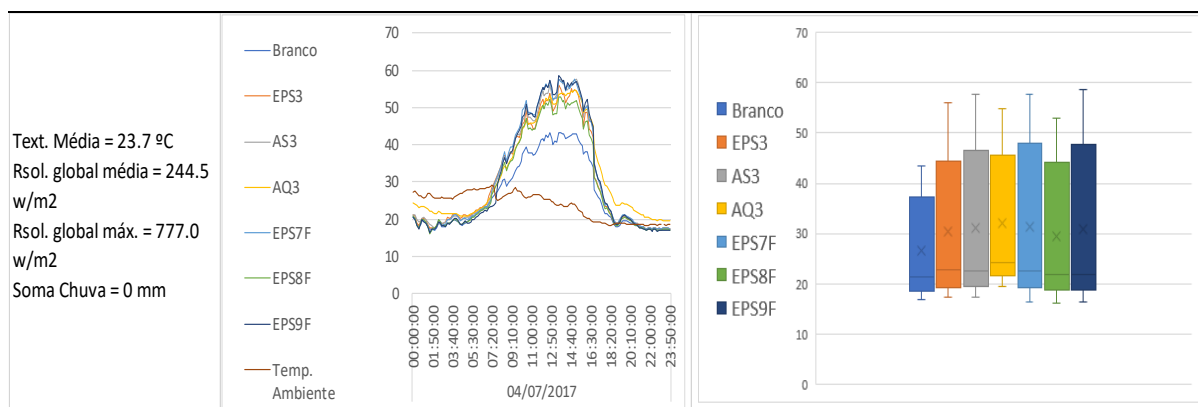


Figura 33 - Análise da Ts do dia 08/06/2017



Algumas conclusões que são possíveis de retirar desta análise são as seguintes:

Num dia de Céu Limpo (Figura 27, Figura 29, Figura 31 e Figura 32)

- Nos gráficos de desenvolvimento das temperaturas superficiais, quando está céu limpo, consegue-se verificar um pico máximo, sem quebras repentinas de valores, ou seja, trata-se de um ciclo contínuo;
- Consegue-se também observar a estratificação entre as amostras, devido à variação de parâmetros como a cor, a refletância e os constituintes, de cada uma;
- Relativamente aos gráficos da Figura 27 e Figura 29, é dos dias analisados onde é possível verificar que esteve o céu limpo durante todo dia, isto porque é possível verificar a estratificação das amostras, mas ao mesmo tempo sem existirem quebras de valores medidos, tornando assim a medição mais constante e conclusiva.

Num dia de Céu Nublado (Figura 26, Figura 28, Figura 30, Figura 33 e Figura 34)

- Nos gráficos de desenvolvimento das temperaturas superficiais, quando está céu nublado, o perfil tipo é de um ciclo que não demonstra continuidade, onde existem quebras repentinas;
- Na Figura 26 é possível visualizar uma diferença de temperaturas de 15,5 °C, situada entre as 11:00 h e as 12:40 h;

- Na Figura 28 é possível visualizar uma diferença de temperaturas de 23,85 °C, situada entre as 14:00 h e as 15:50 h;
- Na Figura 30 é possível visualizar uma diferença de temperaturas de 25,6 °C, situada entre as 13:30 h e as 15:00 h;
- Estas quebras de valores registaram-se na amostra Preto 3500-ETICS, da campanha I, podemos então concluir que sempre que existir um dia com céu nublado, existirá sempre esta quebra de valores registados, no período de tanto maior radiação solar como de temperatura exterior.

Num dia Chuvoso (Figura 35)

- Na Figura 35 é possível visualizar uma diferença de temperaturas de 31,95 °C, na amostra EPS 3, entre as 13:50 h e as 15:00 h;
- Esta amostra escolhida como representativa do desenvolvimento neste dia, teve uma quebra de mais de metade da temperatura, já que a temperatura máxima atingida, é de 63,45 °C;

A Temperatura exterior média tem mais influência nas temperaturas superficiais máximas do que nas mínimas, ou seja, quando existe uma temperatura exterior do ar acima dos 20,0 °C a estratificação e diferença entre picos máximos torna-se facilmente detetável.

No período noturno existe uma maior aproximação entre as temperaturas superficiais das amostras e a temperatura ambiente registada, quando o clima não é de céu limpo, ou seja, quando existe nuvens ou está chuvoso.

Relativamente ao gráfico da Figura 29 (campanha I), os revestimentos Preto 3500-Reboco Térmico e Preto 3500-ETICS, são as amostras que atingem valores de temperatura superficial mais elevados, por outro lado as amostras semelhantes a estas, o Preto 3500-Reboco Térmico “cool pigments”, consegue ainda assim obter valores de temperatura superficial mais baixos do que amostras com cor mais clara, como é o caso das amostras Vermelho 0444 e o Wengué 0412, já o Preto 3500-ETICS “cool pigments” regista valores de temperatura superficial superiores que estas amostras referidas;

Em relação ao gráfico da Figura 32 (campanha II), é possível retirar uma análise entre dois pares de amostras que são iguais em toda a sua composição, o EPS6 com o Preto 3500-ETICS, onde nos materiais constituintes destas amostras, apenas têm o sistema de isolamento com acabamento na cor preta 3500, sem primário, nem TiO₂, nem “cool pigments”, o outro par de amostras é EPS1 e o Preto 3500-ETICS “cool pigments”, onde a única diferença na composição de ambas as amostras em relação às anteriores deve-se ao facto de se adicionar “cool pigments” no revestimento final;

EPS6 vs Preto 3500-ETICS: estas duas amostras sendo iguais na sua composição, torna-se possível obter conclusões sobre a durabilidade do sistema que utiliza placas de poliestireno expandido (EPS), o dia que foi escolhido como representativo do período de medições realizados nestas amostras foi o dia, 04/06/2017, nesse dia a temperatura superficial máxima atingida pela amostra mais recente (EPS3) foi de 58,3 °C, e da outra amostra mais envelhecida (Preto 3500-ETICS) é de 59,2, existe então assim uma diferença de 0,9 °C, onde demonstra que a amostra mais envelhecida têm tendências para atingir temperaturas superficiais superiores, devido muito provavelmente ao desgaste que esteve sujeita a amostra, durante um ano que passou.

EPS1 vs Preto 3500-ETICS “cool pigments”: estas duas amostras também são iguais na sua constituição, apenas diferem no ano que foram construídas, tal como o par de amostras anteriores, a amostra mais recente (EPS1), atinge valores inferiores de temperatura superficial de 0,7 °C, isso demonstra que a adição de “cool pigments” nos revestimentos dos sistemas ETICS pode aumentar a durabilidade dos mesmos;

4.5. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS NA TEMPERATURA SUPERFICIAL

Com o objetivo de obter uma análise mais clara e eficaz, sobre os gráficos das temperaturas superficiais medidas nas campanhas I e II, irão ser analisados gráficos onde se torna possível estudar o comportamento da temperatura superficial de cada amostra, consoante a alteração de indicadores respetivos de cada dia. Os gráficos refletem a influência que os indicadores têm em cada amostra, os indicadores que foram utilizados são referentes aos dias que foram escolhidos como representativos, no subcapítulo 4.4.

O objetivo desta análise é fixar um valor, de um determinado indicador, e observar as diferenças de temperatura superficial máxima, atingida em cada uma das amostras.

Nas duas campanhas, são apresentados gráficos, onde o eixo das abcissas se encontra por ordem crescente do valor do indicador que se pretende avaliar (Figura 32, Figura 37, Figura 38 e Figura 39), e respetivas conclusões sobre os resultados.

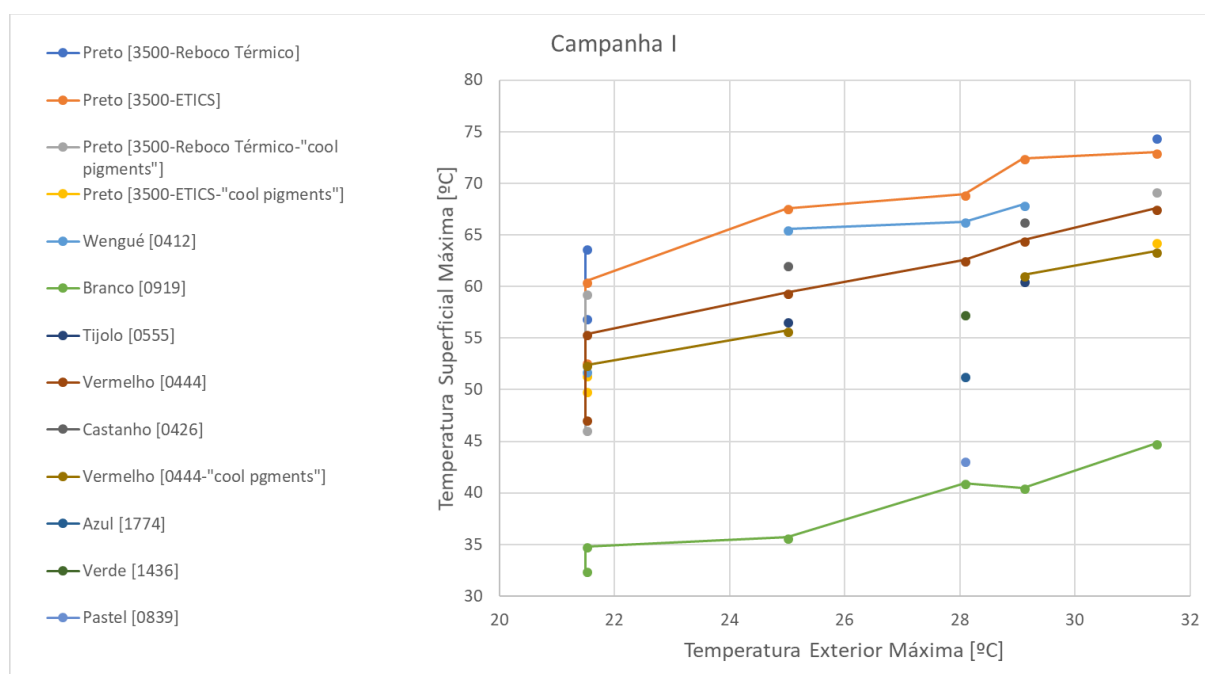


Figura 36 - Gráfico Temperatura superficial máxima vs Temperatura exterior máxima (2016), por ordem crescente de valores da temperatura exterior máxima

Algumas conclusões que são possíveis de retirar através da análise do gráfico da Figura 32:

- Os dias analisados neste gráfico são: 27/05/2016, 01/06/2016, 08/06/2016, 27/06/2016, 30/06/2016 e 31/05/2016;
- Relativamente às amostras que estão presentes em todas as etapas de medições da campanha I, como o Branco 0919, o Vermelho 0444 e o Preto 3500-ETICS, é possível visualizar o comportamento das amostras, quando estão sujeitas a temperaturas exteriores progressivamente maiores, pois consequentemente estas amostras também atingem temperaturas gradualmente superiores;
- Com uma variação de 46 % na temperatura exterior máxima, é possível obter uma variação percentual nas temperaturas superficiais de, 50 % na Preto 3500-Reboco Térmico “cool

pigments”, 43 % na Vermelho 0444, 38 % na Branco 0919, 30,7 % na Preto 3500-Reboco Térmico, 25 % na Preto 3500-ETICS “cool pigments” e 38,7 % na Preto 3500-ETICS;

- No sistema de Reboco Térmico, a amostra que contém os “cool pigments”, tem uma variação de temperatura superficial superior que a amostra sem os pigmentos, no entanto nunca ultrapassa os valores mantendo-se sempre abaixo, devido aos pigmentos refletantes;
- No sistema com placas de EPS e cor de acabamento Preto 3500, na amostra que tem os “cool pigments”, a variação da temperatura superficial é inferior à amostra que não tem os pigmentos;
- De forma a sustentar a conclusão anterior, o mesmo acontece com as amostras com placas de EPS na mesma, mas com diferente cor de acabamento, na cor Vermelho 0444 verificasse que, na amostra que contém os pigmentos, a variação das temperaturas atingidas é inferior que a amostra que não contém;
- É possível então concluir que, os “cool pigments” aplicados em sistemas que usem como revestimento térmico, placas de EPS, em vez de Reboco Térmico, têm maior impacto na diminuição da variação da temperatura superficial devido a solicitações da temperatura ambiente exterior;
- Para uma temperatura exterior de 31,4 °C, as temperaturas atingidas foram de 74,45 °C no Preto 3500-Reboco Térmico, 73 °C no Preto 3500-ETICS, 69,2 °C no Preto 3500-Reboco Térmico “cool pigments” e 64,3 °C no Preto 3500-ETICS “cool pigments”, nestes dias estudados as temperaturas atingidas, pelos sistemas com Reboco Térmico, foram superiores que em relação aos sistemas ETICS;
- Relativamente às outras cores que ainda não foram mencionadas, verificasse que quanto maior é o coeficiente de absorção solar, maiores temperaturas superficiais atingem.

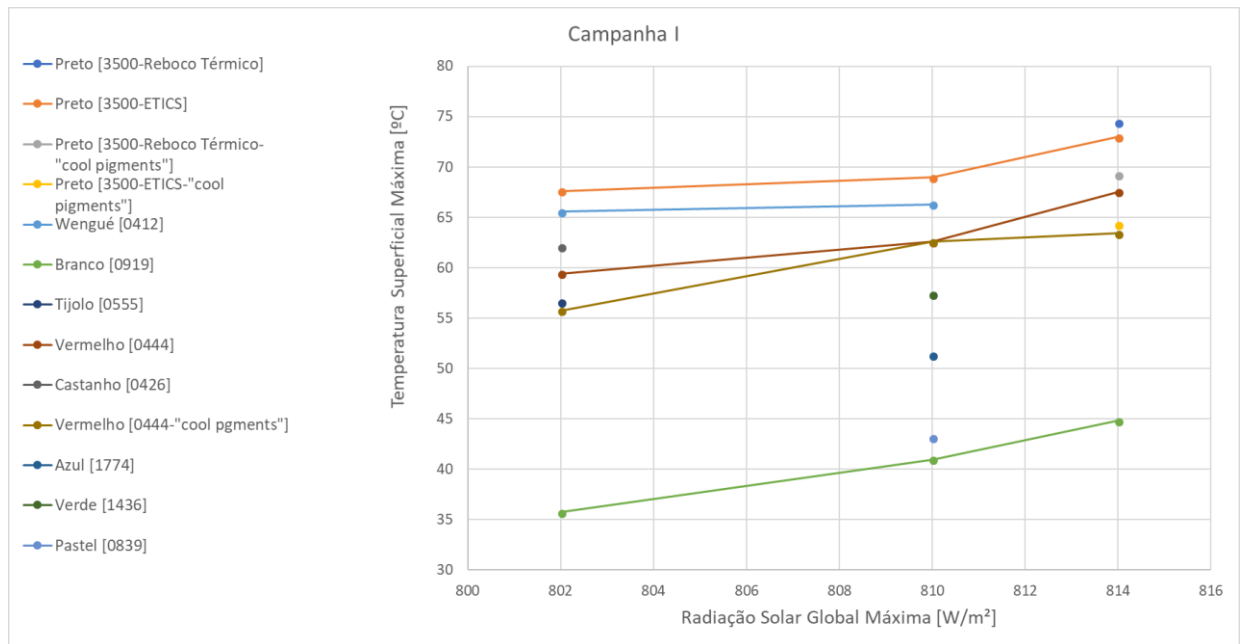


Figura 37 - Gráfico Temperatura superficial máxima vs Radiação solar global máxima (2016), por ordem crescente de valores da radiação solar global máxima

Algumas conclusões que se pode obter através da análise do gráfico da Figura 37 são:

- Quanto maior é a radiação solar global máxima, maior é o valor da temperatura superficial máxima;
- A amostra que atinge o maior valor de temperatura superficial é igualmente o Preto 3500-Reboco Térmico, e isso acontece quando a radiação solar global é maior;
- As amostras Branco 0919 e o Pastel 0839 são as que atingem temperaturas superficiais mais baixas;
- O indicador da temperatura exterior máxima tem maior influência, nos valores de temperaturas superficiais registados nos termopares, do que o indicador de radiação solar global máxima, pois nem em todos os dias em que estão temperaturas exteriores altas, existem valores elevados de radiação solar, muito devido ao estado em que o céu pode se encontra nesses dias, estando ou limpo, ou nublado ou até mesmo chuvoso.

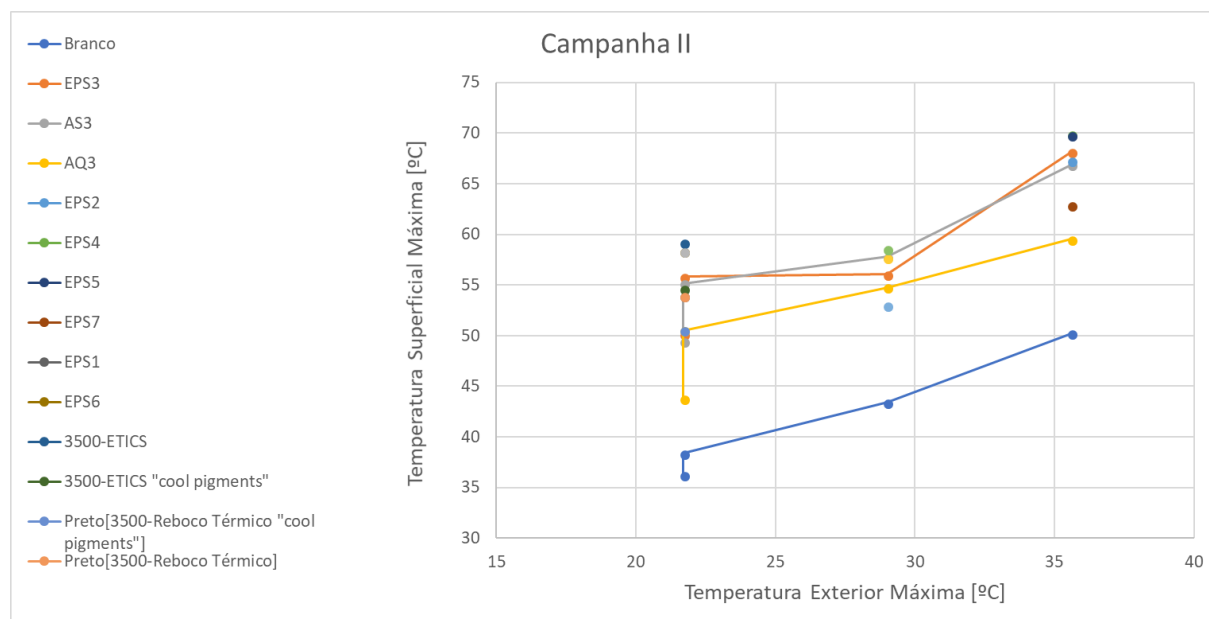


Figura 38 - Gráfico Temperatura superficial máxima vs Temperatura exterior máxima (2017), por ordem crescente de valores da temperatura exterior máxima

Algumas conclusões que se tornam possíveis de se obter pela análise do gráfico da Figura 38 são:

- Os dias estudados neste gráfico são, 23/05/2017, 04/06/2017, 08/06/2017, 04/07/2017 e 05/07/2017;
- As amostras que se repetem ao longo dos dias estudados, são a Branco, a EPS 3, a AS 3 e AQ 3;
- Com um aumento da temperatura superficial máxima de 64 %, consegue-se obter uma variação nas temperaturas das amostras de 38,5 % no Branco, 35,9 % no EPS 3, 35,8 % no AQ 3 e de 35,3 % no AS 3. Estes valores são muito próximos uns dos outros, no entanto para a amostra Branco, que não tem pigmentos refletantes, mesmo tendo uma cor de revestimento mais clara em relação às outras, é a amostra que tem maior aumento percentual das suas temperaturas, devido ao aumento gradual da temperatura exterior máxima;
- As duas amostras que atingem temperaturas superficiais mais elevadas são o EPS4 e o EPS5, no dia que tinha a temperatura exterior média também mais elevada, dentro do grupo de dias selecionados como representativos do comportamento de todas as amostras ensaiadas;
- Devido a existirem dois pares de amostras que têm a mesma constituição será realizada uma análise separada entre eles. EPS6 e Preto 3500-ETICS: a primeira amostra atinge temperaturas mais baixas que a segunda, que se trata da amostra mais envelhecida, a diferença de temperaturas é de 0,9 °C. EPS1 e Preto 3500-ETICS “cool pigments”: neste par de amostras é possível identificar um comportamento semelhante, onde a amostra envelhecida atinge maiores temperaturas superficiais que a mais recente (EPS 1), a diferença de temperaturas foi de 0,7 °C, de salientar que o envelhecimento foi de um ano;
- Os pigmentos são favoráveis em manter, as superfícies envelhecidas mais próximas dos valores registados nas amostras mais recentes.

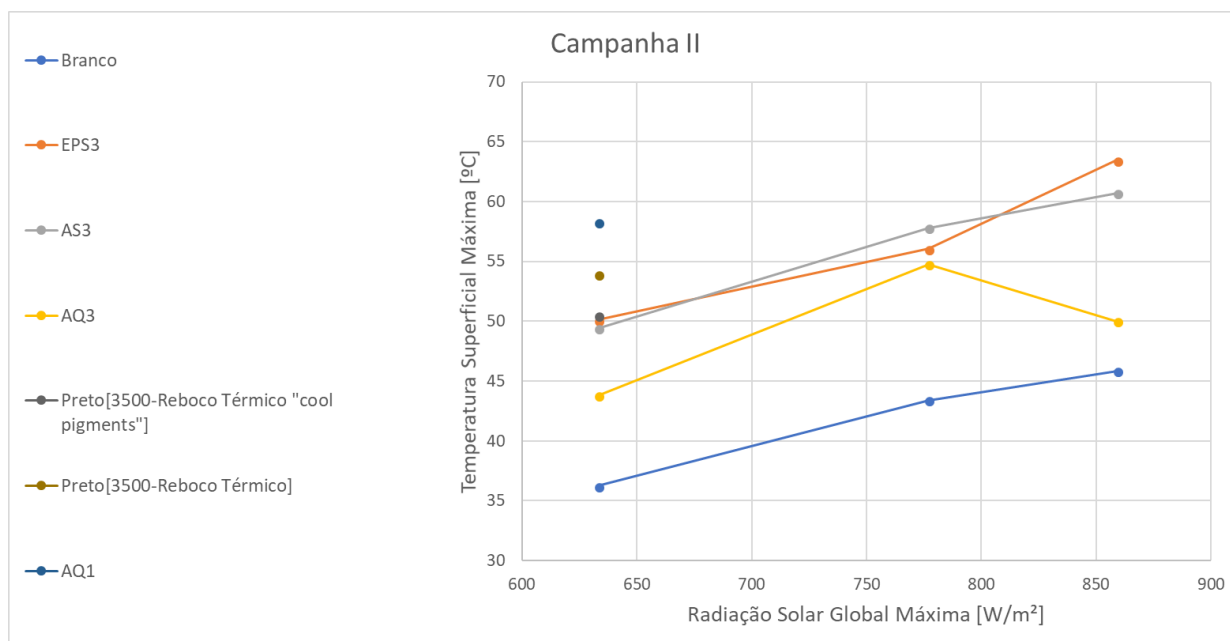


Figura 39 - Gráfico Temperatura superficial máxima vs Radiação solar global máxima (2017), por ordem crescente de valores da radiação solar global máxima

Algumas conclusões que é possível retirar pela análise do gráfico da Figura 39 são:

- Os dias estudados são 08/06/2017, 04/07/2017 e 05/07/2017;
- Quanto maior é o valor da radiação solar global máxima, durante um dia, não quer dizer que as amostras atinjam, à partida maiores valores de temperaturas superficiais medidos, como podemos observar no desenvolvimento das quatro amostras que se repetem nos cinco dias escolhidos, que são as amostras, Branco, EPS3, AS3 e AQ3;
- Com uma variação de 35,7 % de radiação solar, as amostras tiveram um aumento percentual de 26,6 % no EPS 3, 26,5 % no Branco, 22,9 % no AS 3, e 14 % no AQ 3.

4.6. ANÁLISE DA TEMPERATURA SUPERFICIAL MEDIDA “*IN SITU*” VS TEMPERATURA SUPERFICIAL CALCULADA

A seguinte análise, sobre as medições da temperatura superficial, tem como principal objetivo realizar um estudo que ofereça uma perspetiva diferente, onde seja possível observar o comportamento individual, de cada amostra que foi medida ao longo da respetiva campanha, em comparação com o comportamento esperado de cada um dos casos, para esse calculo adapta-se uma metodologia simplificada da temperatura ar-Sol, que está exposta na fórmula (2), onde os parâmetros da radiação solar global e da temperatura exterior média, variam de 10 em 10 minutos e o coeficiente de absorção solar assume o valor característico da cor de cada revestimento. Relativamente à condutância térmica superficial exterior, de uma forma generalista pode considerar-se que $h_e = 25 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, como já foi referido no capítulo 2. Os gráficos apresentados, no documento, foram escolhidos como representativos das amostras que mais e menos se aproximaram dos resultados esperados, os gráficos das restantes amostras encontram-se em Anexo.

4.6.1. CAMPANHA I

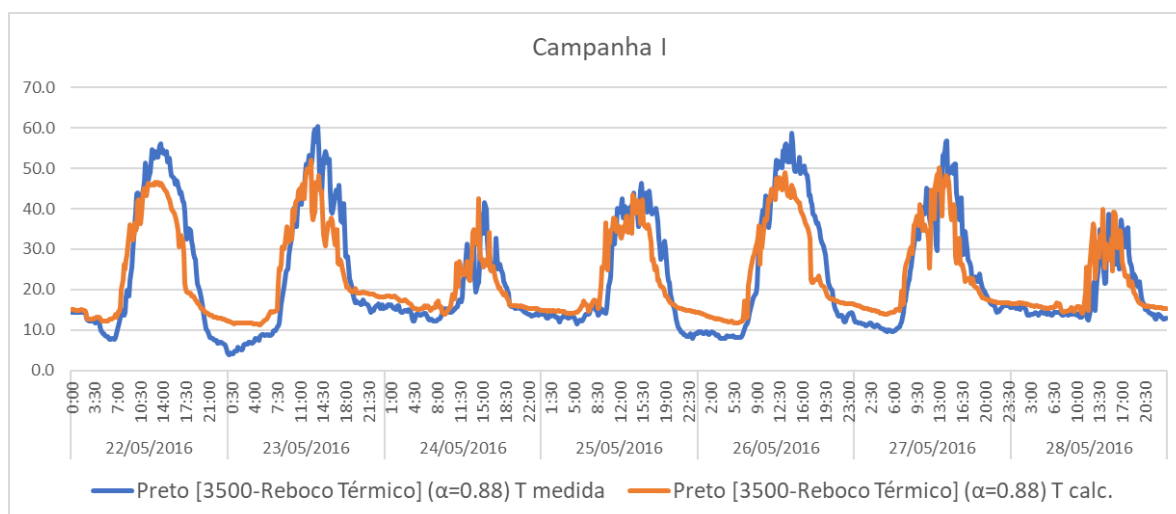


Figura 40 – Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (Preto 3500 – Reboco Térmico)

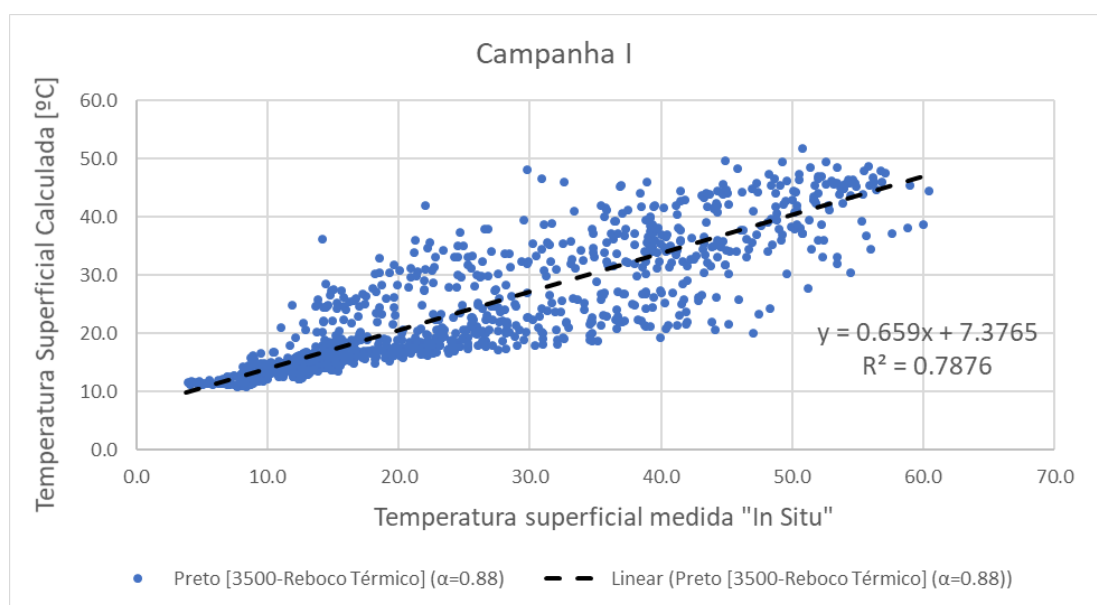


Figura 41 – Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Preto 3500 – Reboco Térmico)

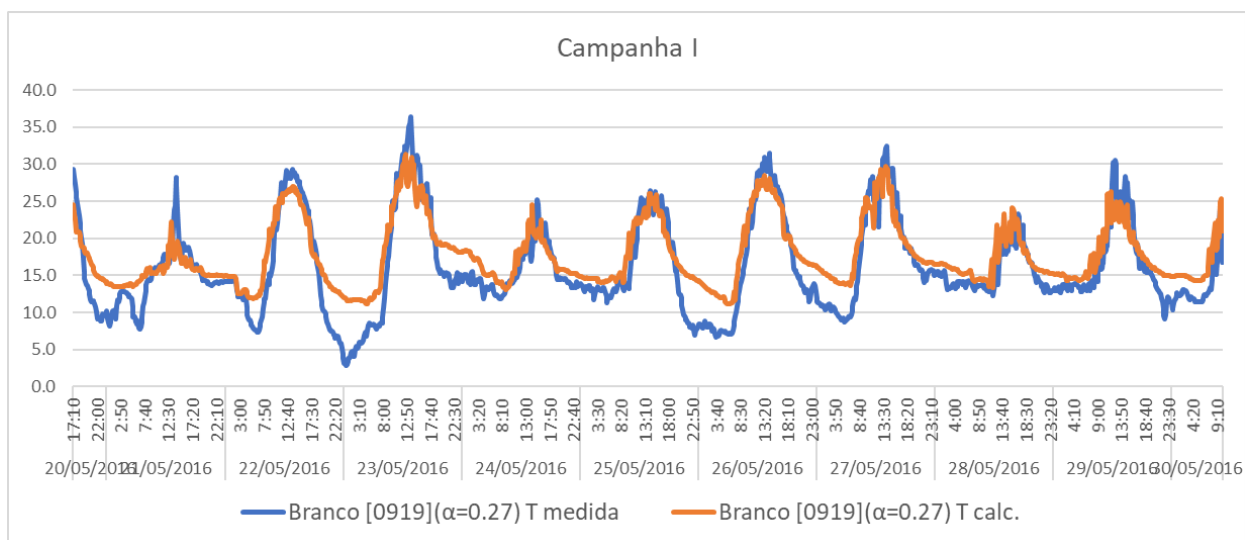


Figura 42 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Branco 0919)

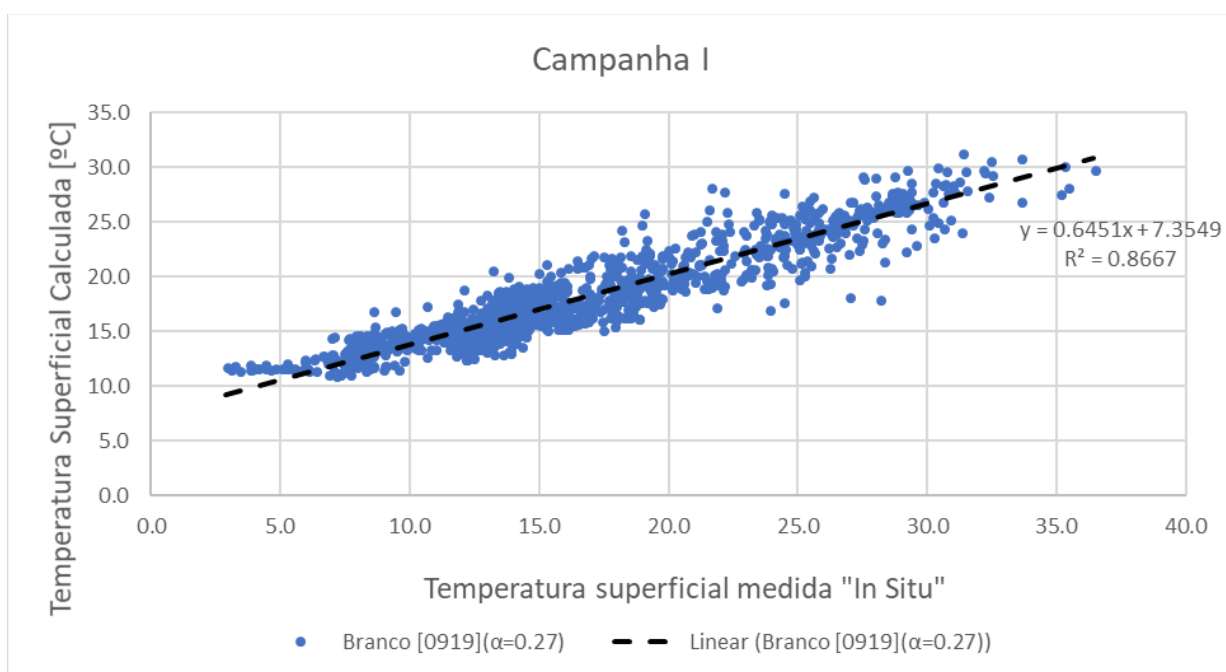


Figura 43 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Branco 0919)

4.6.2. CAMPANHA II

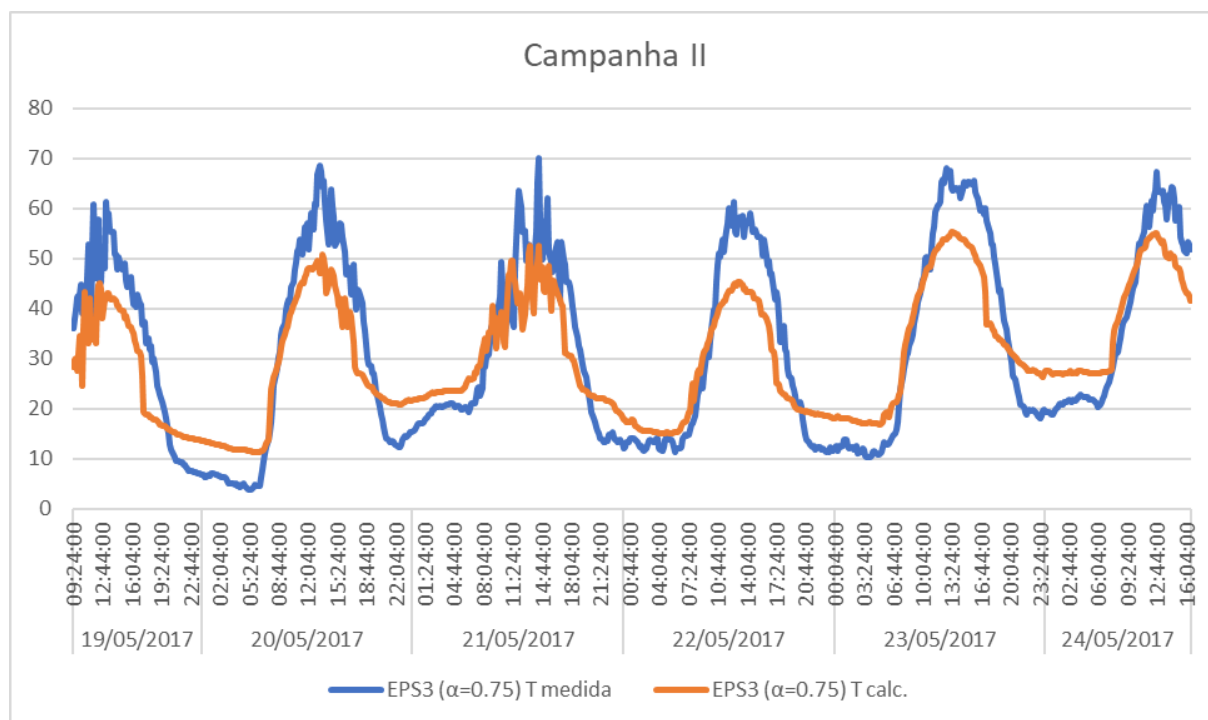


Figura 44 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS3)

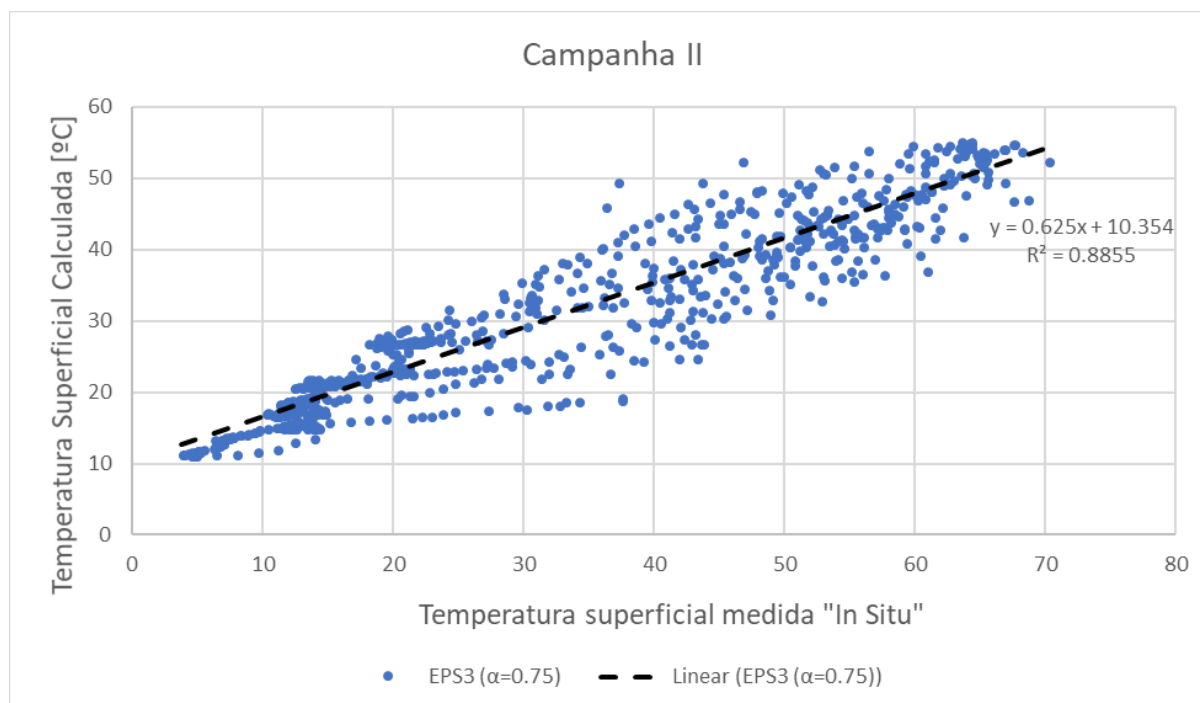


Figura 45 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS3)

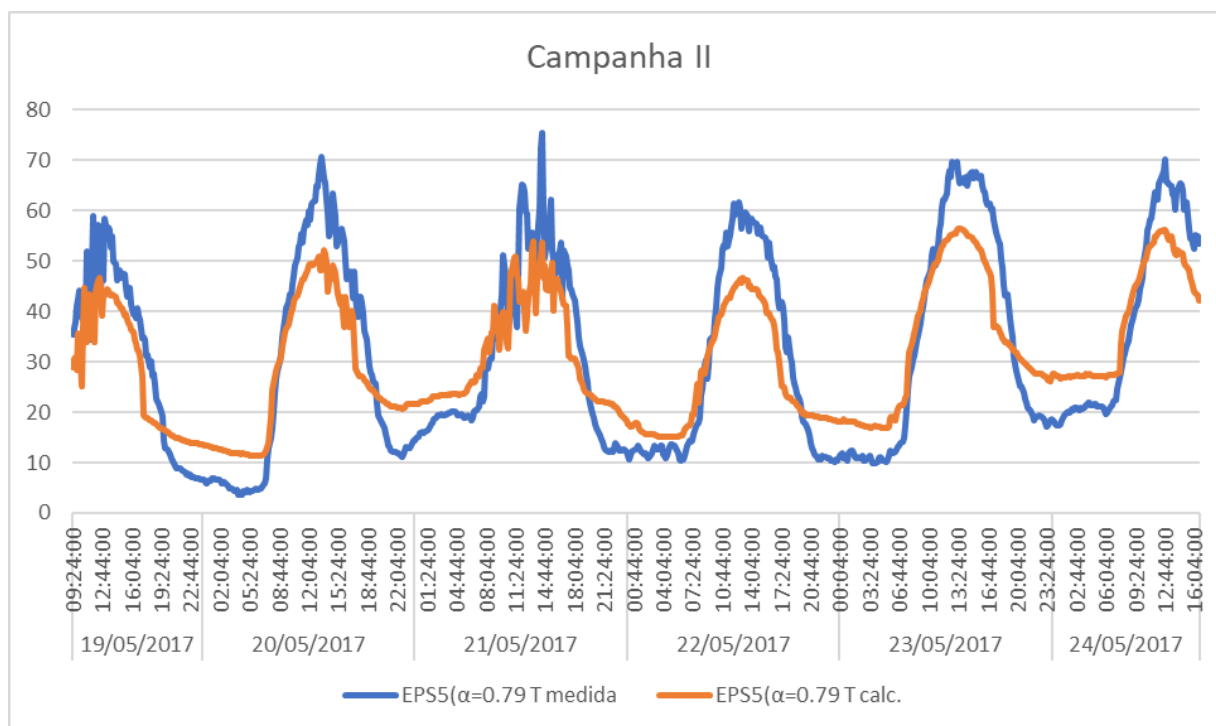


Figura 46 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS5)

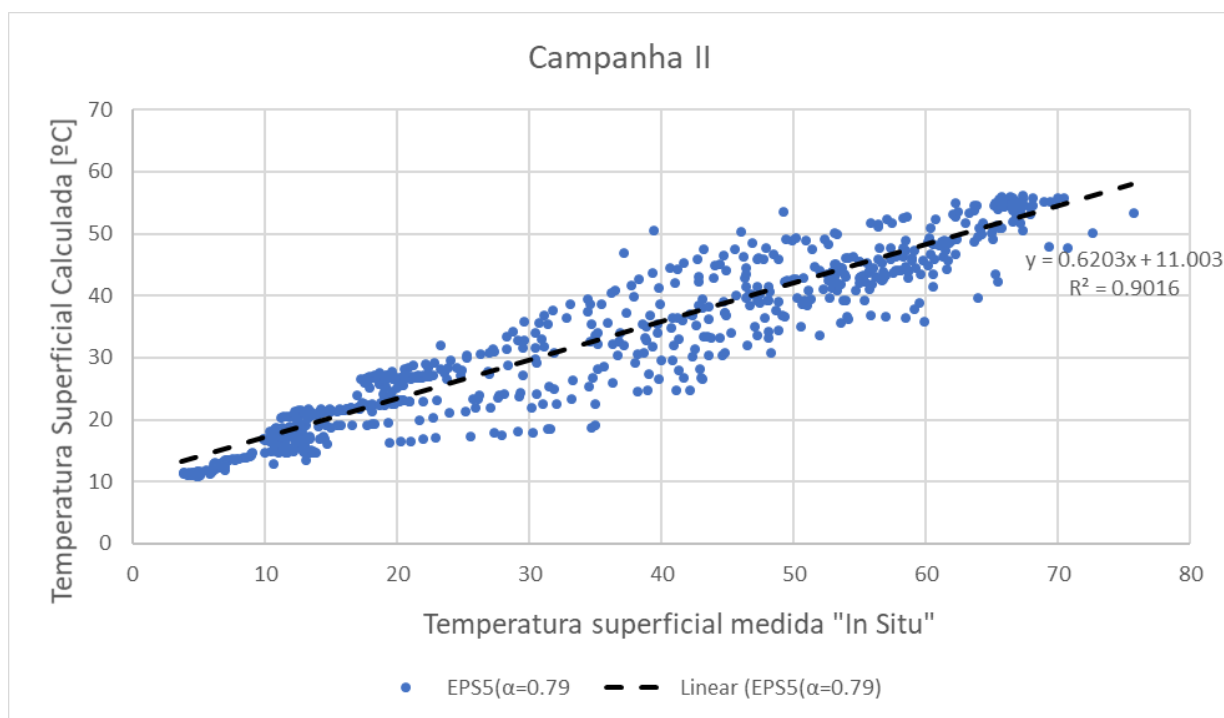


Figura 47 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS5)

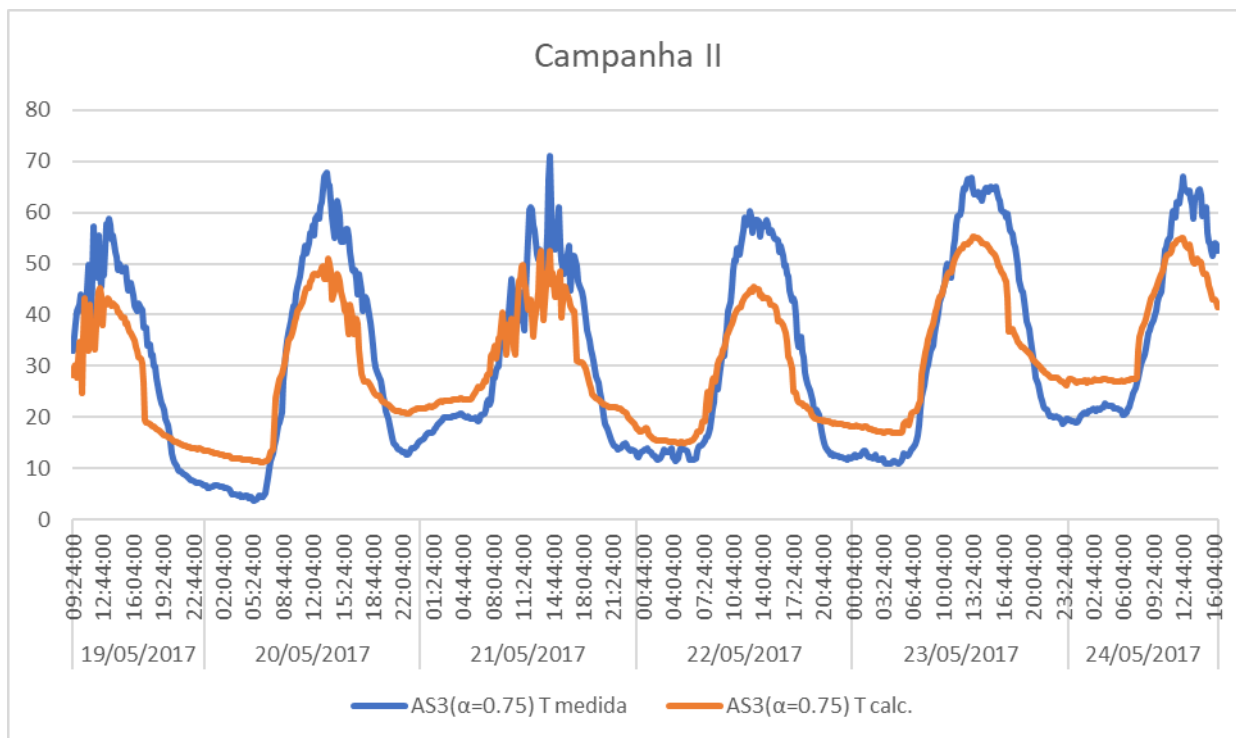


Figura 48 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (AS3)

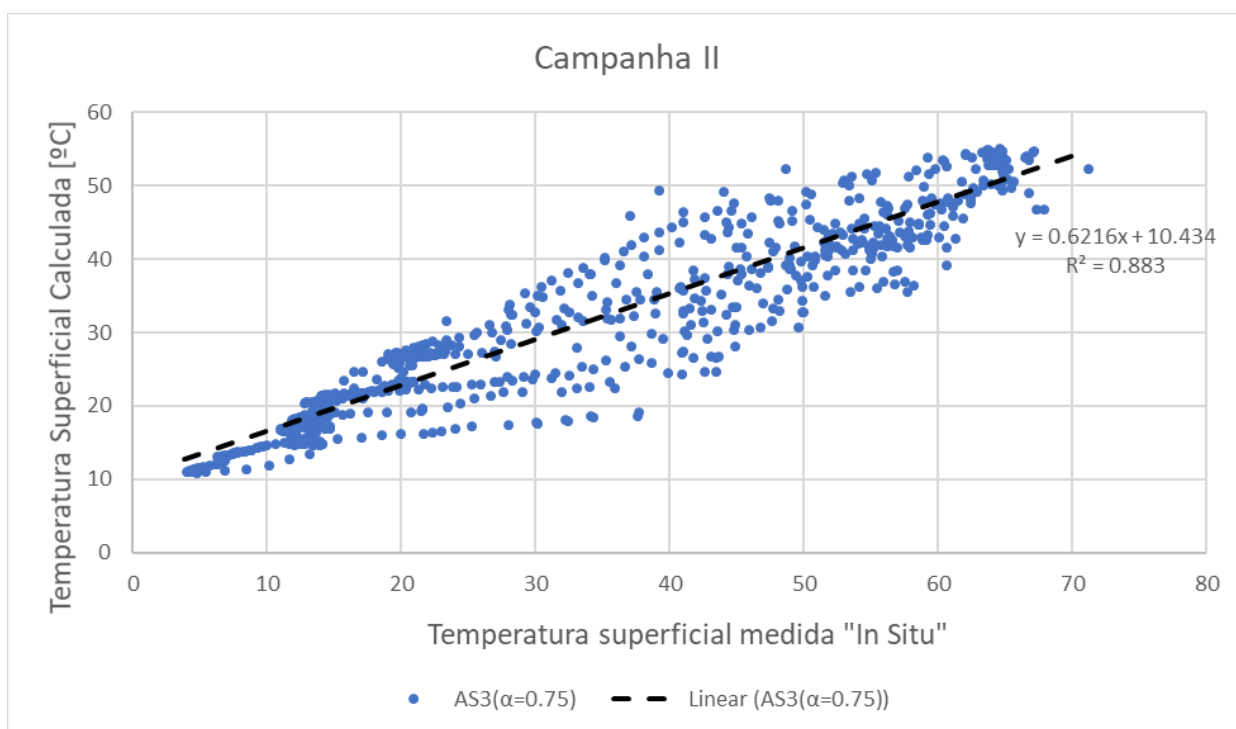


Figura 49 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (AS3)

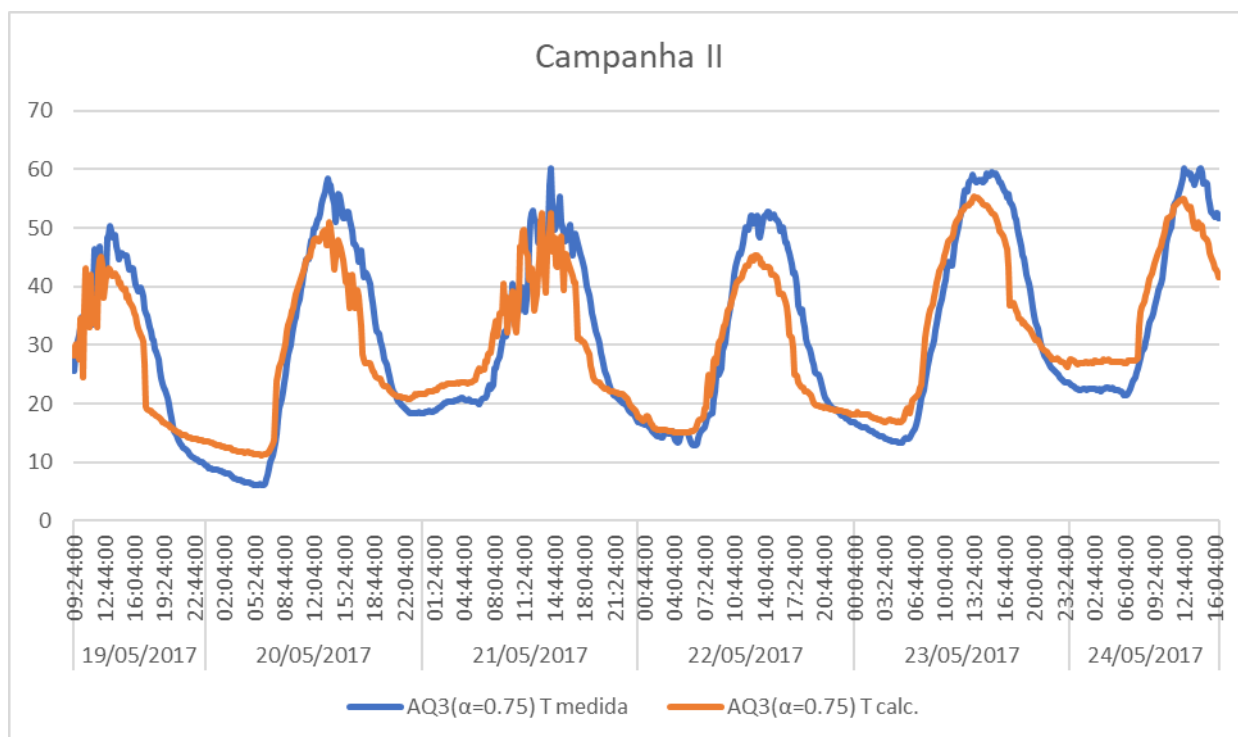


Figura 50 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (AQ3)

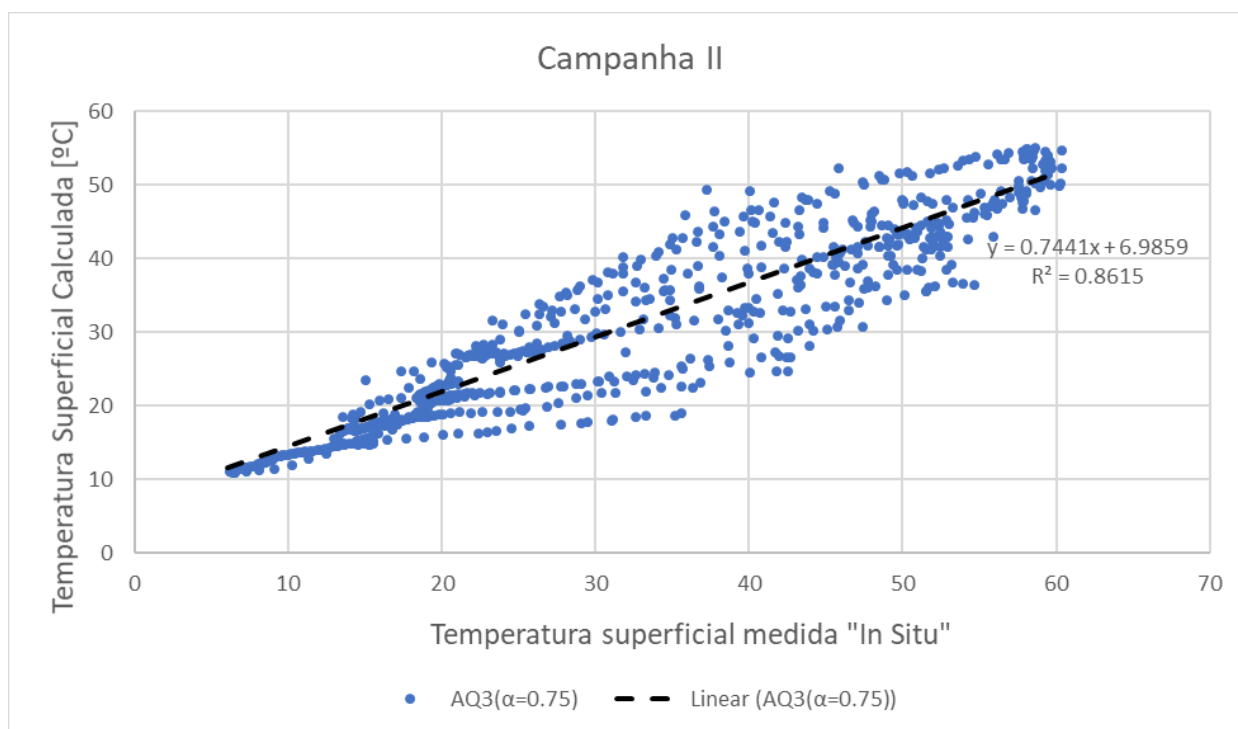


Figura 51 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (AQ3)

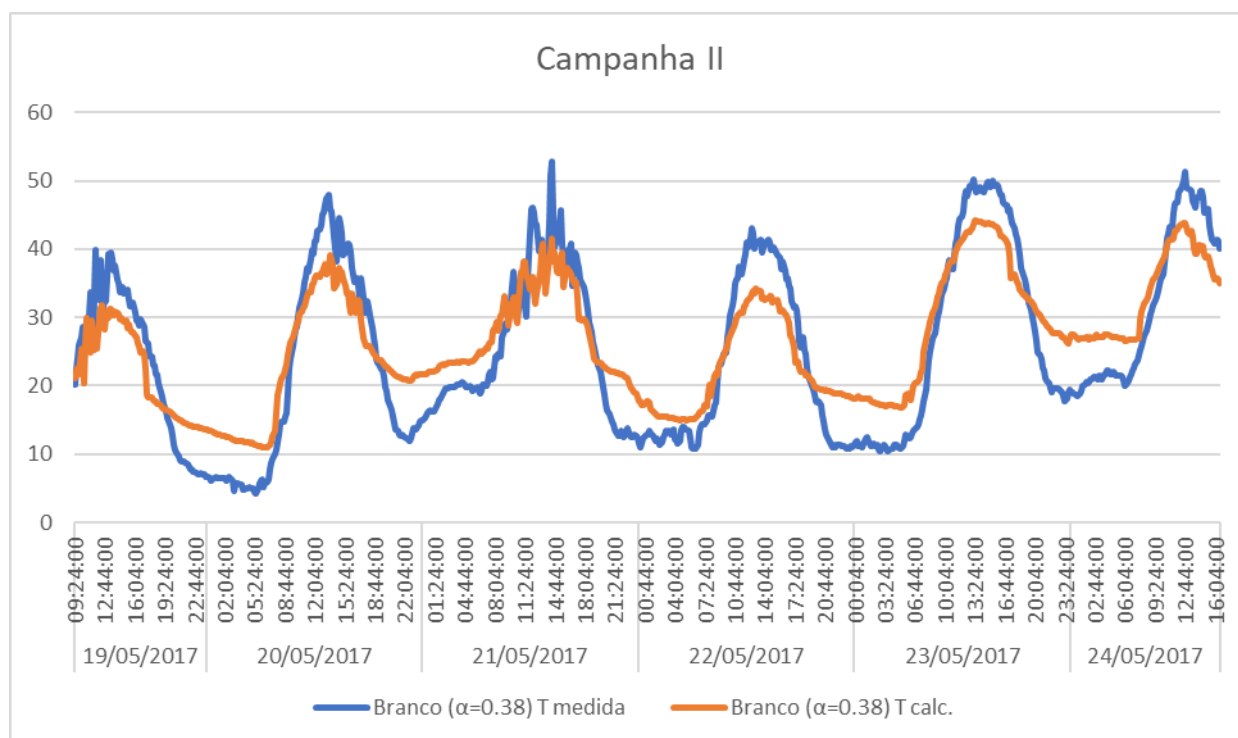


Figura 52 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Branco)

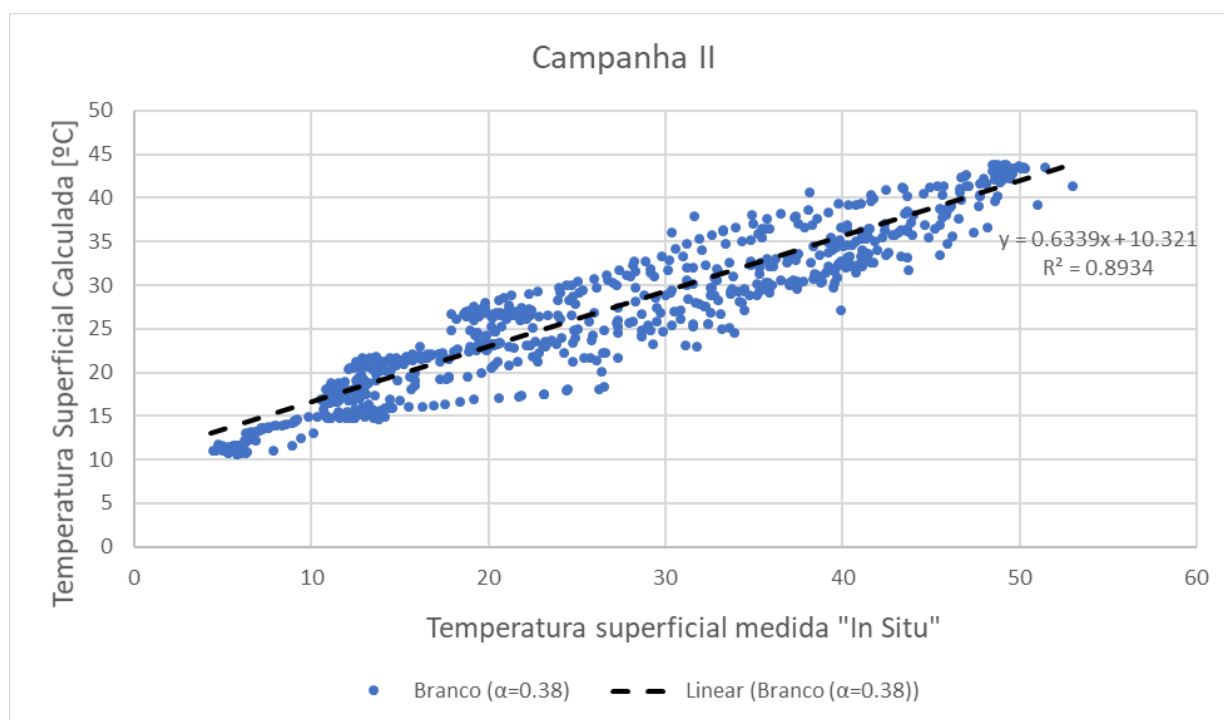


Figura 53 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Branco)

4.6.3. CAMPANHA III

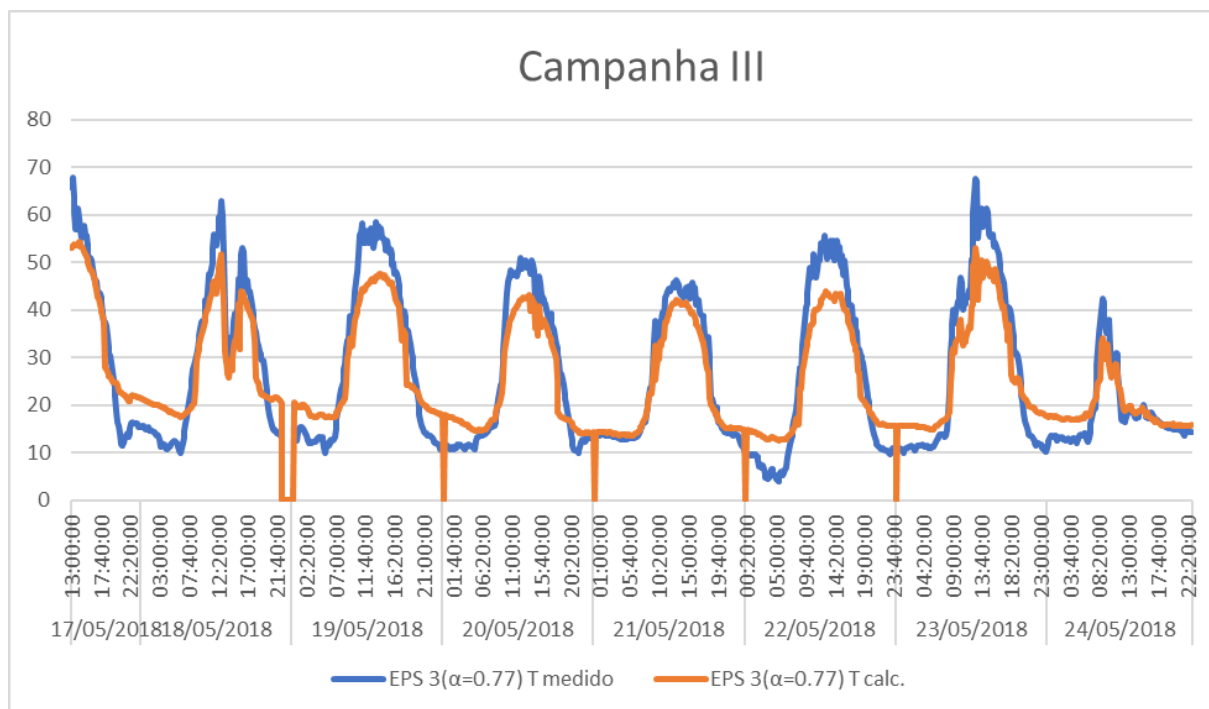


Figura 54 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS3)

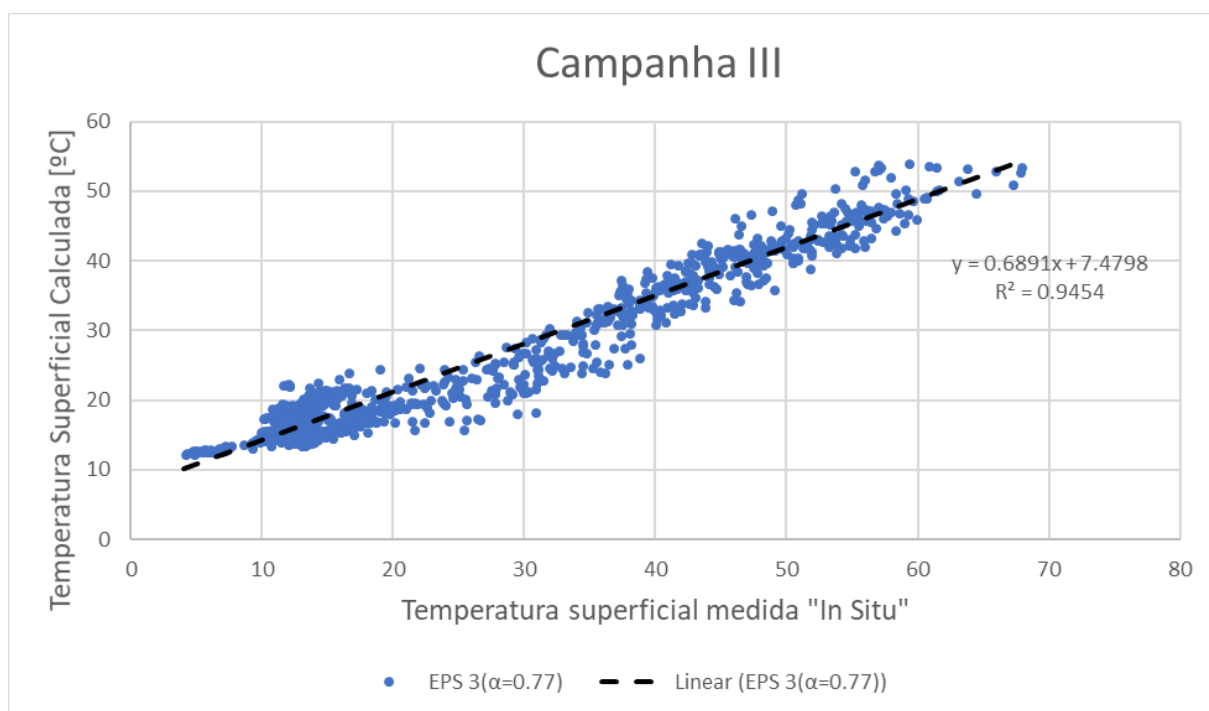


Figura 55 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS3)

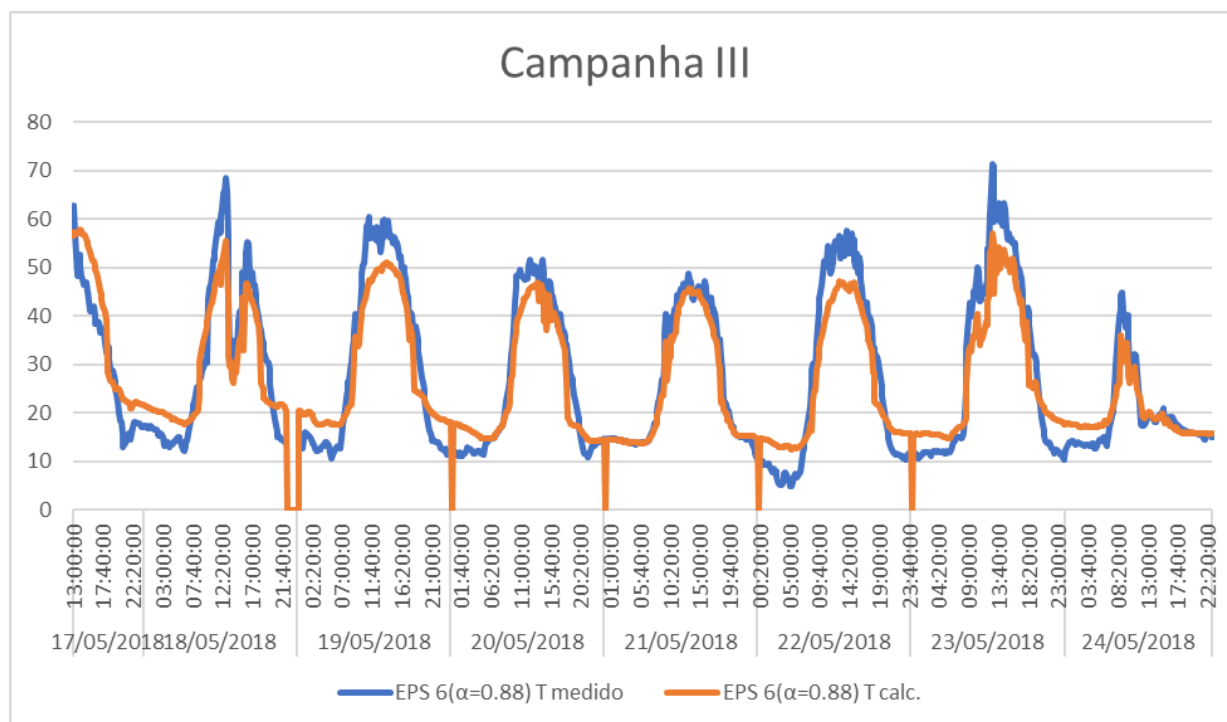


Figura 56 - Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (EPS6)

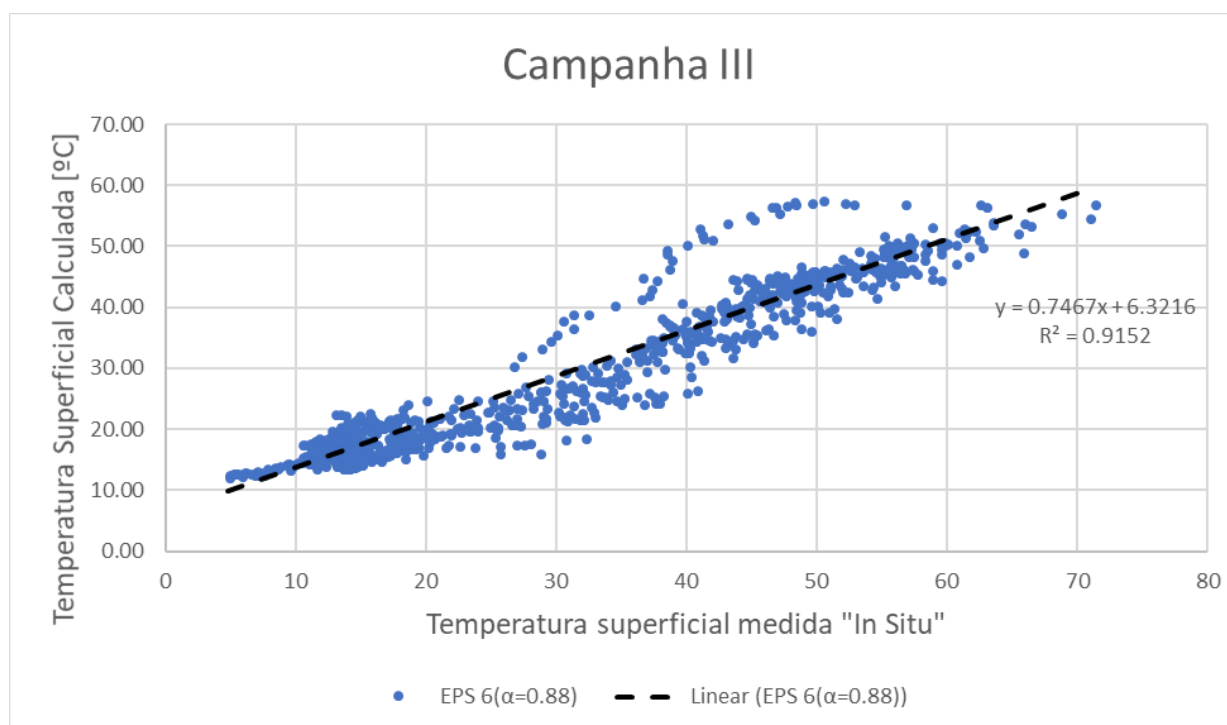


Figura 57 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS6)

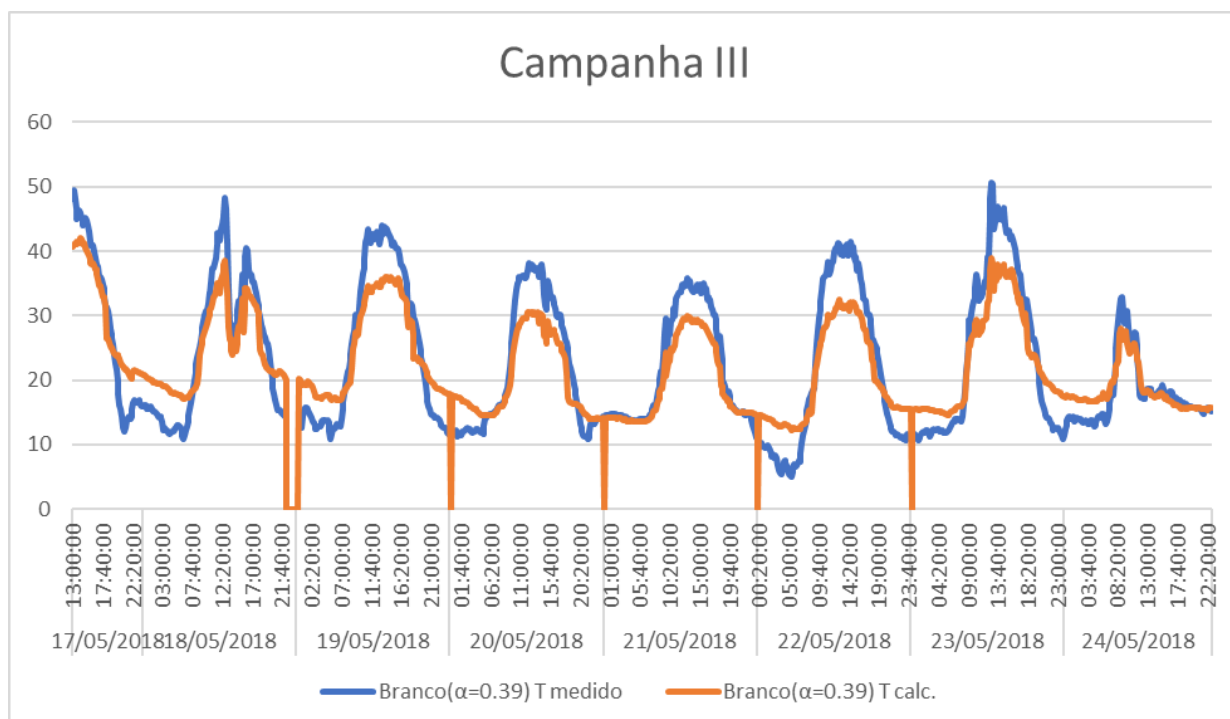


Figura 58 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Branco 0919)

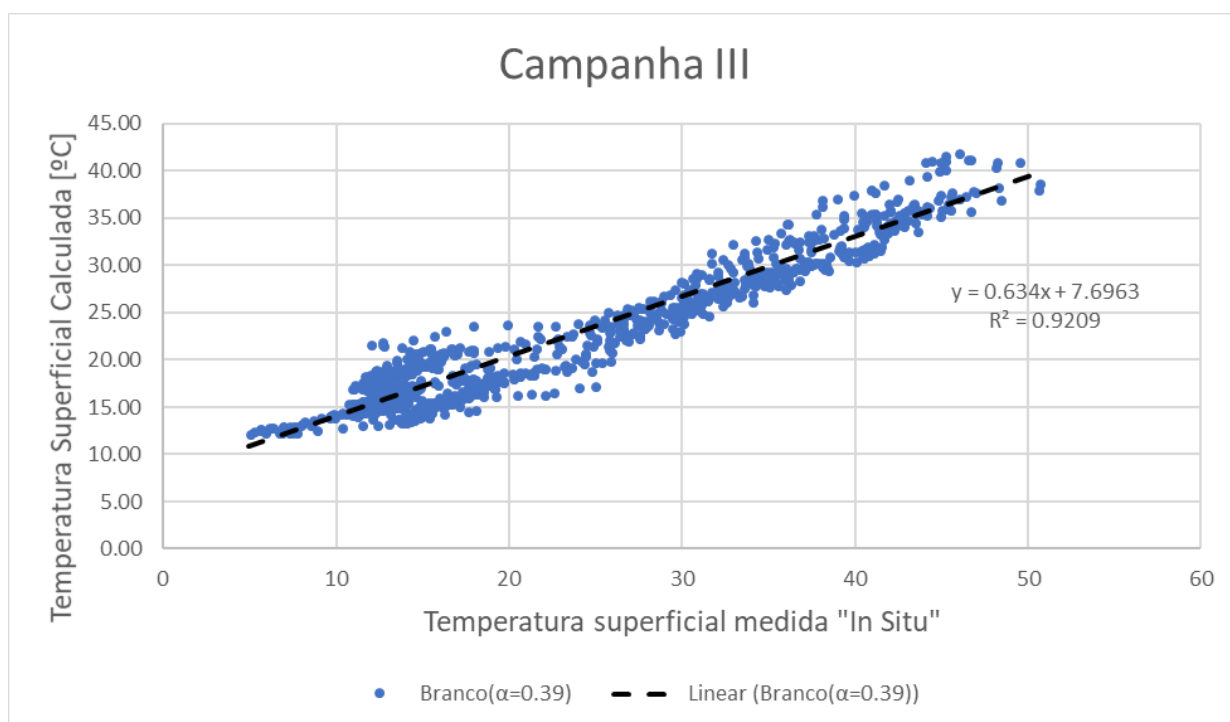


Figura 59 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Branco 0919)

4.6.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos gráficos tanto da campanha I como na II, demonstram um comportamento das temperaturas que é possível concluir que existe um atraso de resposta nas medições “*In Situ*”, em relação às medições calculadas, devido ao atraso no registo de dados do datalogger e das medições efetuadas pelos termopares.

Quando ocorre uma quebra no desenvolvimento das temperaturas superficiais calculadas deve-se ao facto de naquele período de tempo os valores da radiação solar global e da temperatura ambiente exterior não terem sido registados pela estação meteorológica do LFC/FEUP.

Como o principal objetivo desta análise é perceber, as diferenças entre as temperaturas medidas, e as temperaturas calculadas, segundo a metodologia simplificada da temperatura ar-sol, o Quadro 19 apresenta então esses valores.

Quadro 19 - Diferenças máximas entre as temperaturas medidas “*In Situ*” e as calculadas

Amostras	Diferença máxima entre a Tmedida e Tcalculada [°C]		
	Campanha I	Campanha II	Campanha III
Preto 3500-Reboco Térmico	26,5	-	-
Preto 3500-ETICS	27,2	28,6	-
Preto 3500-Reboco Térmico “cool pigments”	22,2	-	-
Preto 3500-ETICS “cool pigments”	22,3	23,3	-
Branco	10,1	12,4	12,4
EPS 1	-	18,0	16,6
EPS 2	-	23,9	16,9
EPS 3	-	23,6	16,0
EPS 4	-	26,1	20,5
EPS 5	-	23,7	17,8
EPS 6	-	24,4	16,5
EPS 7	-	20,1	16,2
AQ 3	-	17,8	-
AS 3	-	21,7	-

Algumas conclusões que são possíveis de retirar sobre esta análise são que:

Relativamente à campanha I:

- As maiores diferenças do Quadro 19 estão associadas, às amostras que não tem “cool pigments”;
- As diferenças são maiores nas amostras com ETICS do que as com reboco térmico.

Relativamente à campanha II:

- As temperaturas das amostras EPS 6, EPS 1, Preto 3500-ETICS e Preto 3500-ETICS “cool pigments” foram medidas, em dias diferentes das restantes, por isso os valores não são comparáveis;
- A diferença registada no Preto 3500-ETICS e no EPS 6 (sem cool), é superior à registada no Preto 3500-ETICS “cool pigments” e EPS 1 (com cool), o que leva a concluir que a presença dos pigmentos refletantes, na constituição das amostras, é favorável a manter as temperaturas superficiais mais próximas dos valores calculados.

Relativamente à campanha III:

- As diferenças registadas nas amostras EPS 4 e EPS 5 são maiores do que nas restantes amostras;
- A nível da constituição destas duas amostras, as coisas que têm em comum é o facto de terem uma camada de primário e a mesma cor de revestimento;
- É possível então concluir que, a inclusão do primário, torna a temperatura medida das amostras mais distante, da temperatura calculada;

O R^2 é um parâmetro de ajuste de uma regressão linear, varia entre 0 a 1, e quanto mais próximo for do valor de 1, mais a regressão linear se aproxima dos valores das temperaturas, o que consiste, numa dispersão menor entre os valores medidos e os calculados.

Quadro 20 - Coeficiente de determinação das amostras estudadas

Amostras	R^2 (%)		
	Campanha I	Campanha II	Campanha III
Preto 3500-Reboco Térmico	78,76	-	-
Preto 3500-ETICS	80,55	89,46	-
Preto 3500-Reboco Térmico “cool pigments”	79,37	-	-
Preto 3500-ETICS “cool pigments”	80,71	89,52	-
Branco	86,67	89,34	92,09
EPS 1	-	89,29	93,7
EPS 2	-	91,27	92,69
EPS 3	-	88,55	94,54
EPS 4	-	89,93	93,63
EPS 5	-	90,16	94,11
EPS 6	-	89,18	91,52
EPS 7	-	89,11	93,78
AQ 3	-	86,15	-
AS 3	-	88,30	-

A conclusão possível de retirar acerca do Quadro 20 é que as amostras da campanha II e III, têm valores do coeficiente de determinação relativamente altos em comparação com a campanha I, o que traduz, uma maior aproximação da respetiva regressão linear aos valores registados das temperaturas. Logo a dispersão de resultados, entre os valores de temperatura medidos e calculados, não é tão grande o que revela uma maior aproximação destes parâmetros com o passar dos anos.

4.7. DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS

O objetivo criado neste subcapítulo é de resumir e relacionar toda a informação e análise experimental obtida e descrita anteriormente. As análises mais importantes a destacar são:

Análise da Temperatura Superficial

Sobre a influência da existência de primário na constituição das amostras:

- Na campanha III, as amostras que atingiram valores de temperatura superficial, constantemente mais elevados, ao longo do tempo, que era registado os valores, foram as amostras EPS 4 e EPS 5 (ambas com primário);

- Na campanha III, a amostra EPS 2 (com primário) atinge temperaturas superficiais superiores, do que em relação à amostra EPS 1 (sem primário);
- Na campanha II, EPS 1 (sem primário) é a amostra que apresenta as temperaturas superficiais mais baixas, no grupo 1, no grupo 2, a amostra AQ 1 (sem primário) apresenta temperaturas superficiais mais baixas em relação à amostra AQ 3 (com primário);
- Na campanha I, as amostras não incluíam primário nas suas composições;
- Conclui-se então, que a camada de primário com “cool pigments” que é aplicada na constituição das amostras, não é decisivo na redução de temperaturas superficiais atingidas, uma vez que, as amostras com primário atingem valores mais altos de temperatura, do que as semelhantes sem primário.

Sobre a influência da existência de “cool pigments” na constituição das amostras:

- Na campanha III, a amostra EPS 2 (com “cool pigments”), atinge valores mais baixos de temperatura do que a amostra EPS 4 (sem “cool pigments”);
- Na campanha II, as temperaturas superficiais são mais baixas na amostra EPS 1 (com “cool pigments”) do que na EPS 6 (sem “cool pigments”) e existe uma diferença de 10 °C, entre elas;
- Na campanha I, a maior diferença de temperatura registada entre o Preto 3500-Reboco Térmico e o Preto 3500-Reboco Térmico “cool pigments” foi de 11,8 °C e entre o Preto 3500-ETICS e o Preto 3500-ETICS “cool pigments” foi de 10,7 °C;
- Conclui-se então, que as amostras que não têm os “cool pigments” nas suas constituições atingem temperaturas superficiais mais elevadas.

Sobre a influência do posicionamento dos “cool pigments” na constituição das amostras:

- As amostras analisadas neste ponto são o EPS 2 e o EPS 3;
- Através da análise entre as amostras anteriores, é possível concluir que quanto maior for a quantidade de “cool pigments” presente na constituição do sistema, neste caso a amostra EPS 3 (“cool pigments” tanto no primário como no revestimento final), atinge valores de temperatura superficial mais baixas, no entanto a tendência é dos valores se irem aproximando, pois, os coeficientes de refletância solar da campanha II para a III igualaram-se.

Sobre a influência do suporte:

- As amostras que serão analisadas neste tópico serão: a AS 3, AQ 3 e a EPS 3;
- Como na campanha III a única amostra destas três que foi medida foi a EPS 3, torna-se assim inconclusiva a análise;
- Na campanha II, a amostra que apresenta valores de temperatura superficial mais baixo é a AQ 3, muito devido ao facto de esta não ter isolamento térmico;
- Na campanha I, verificou-se que a amostra Preto 3500-Reboco Térmico atingiu temperaturas superiores à amostra Preto 3500-ETICS;
- É possível então concluir que o suporte tem influência direta nas temperaturas à superfície, sendo o sistema que utiliza o aislone melhor nesse aspeto.
- Nas amostras com isolamento térmico (AS 3 e EPS 3), mesmo apresentando valores de refletância solar mais elevados, atingem temperaturas superficiais cerca de 6 °C, acima dos valores atingidos num sistema tradicional de construção de fachadas (AQ 3).

Sobre a influência da existência de TiO₂ na constituição das amostras:

- As amostras analisadas são o EPS 3 e EPS 5, de salientar também que a amostra EPS 5 apresenta uma cor substancialmente mais escura, como foi possível de verificar na análise da variação de cor;
- Na campanha III, verifica-se que a amostra EPS 3 (com TiO₂) regista temperaturas inferiores à amostra EPS 5 (sem TiO₂);
- Na campanha II, a amostra EPS 5 (sem TiO₂) regista temperaturas superiores de aproximadamente 4 °C;
- Conclui-se assim que com a adição do pigmento TiO₂, conseguem-se obter temperaturas superficiais mais baixas, para amostras com a mesma cor de acabamento;

Sobre a durabilidade das amostras:

- Todas as amostras presentes na campanha III sofreram um envelhecimento de um ano, para além da amostra Branco 0919, que se manteve durante as 3 campanhas;
- As amostras, com Reboco Térmico, tiveram maiores variações em parâmetros como, a variação da cor e a refletância solar, o que leva a concluir que, o sistema que usa como revestimento placas de EPS, é mais durável;
- Sobre a variação dos valores da refletância solar ao longo das campanhas, as amostras que se destacam com valores nulos são, a EPS 1, a EPS 2, a EPS 6, a Preto 3500-ETICS e a Preto 3500-ETICS “cool pigments”. Excluindo a EPS 2, todas estas amostras não têm a camada de primário, o que leva a concluir que a inclusão do primário nas amostras, é prejudicial à manutenção do valor inicial do coeficiente de refletância, pois em alguns casos de amostras (com primário), estes valores aumentam e outros diminuem, com 1 ano de envelhecimento;
- Como as amostras EPS 5 e EPS 7 são as únicas que não têm TiO₂ na sua constituição, e ambas aumentaram o parâmetro L*, logo ficaram mais claras, é possível então concluir que quando as amostras não têm TiO₂ ficam mais claras ao longo do tempo.

5

CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE CRÍTICA

Nos dias de hoje existem várias soluções a nível de sistemas de isolamento térmico pelo exterior das fachadas, que têm como principal objetivo a redução do consumo energético adicional, com o aquecimento e arrefecimento dos edifícios. Os sistemas estudados são exemplos dos mais comercializados pela maioria das empresas, tanto o que inclui o poliestireno expandido (EPS), como o que utiliza reboco térmico projetado. Para além destes dois sistemas é ainda utilizado amostras que contêm placas de betão leve, com a finalidade de recriar as situações tradicionais de construção. De referir que os sistemas com isolamento térmico se tornaram bastante populares, pois de facto, traziam diversas vantagens aos utilizadores, como também algumas desvantagens e a partir dessas desvantagens surgiu então o interesse em melhorar esta solução construtiva, através de inúmeros estudos e progressos que se vão desenvolvendo.

O tema de toda a pesquisa e desenvolvimento experimental está relacionado com a verificação das alterações que podem surgir em parâmetros dos sistemas como a refletância solar, temperatura superficial e cor, quando estão expostos à radiação solar, para além disso como se trata de um trabalho que está sustentado em duas campanhas anteriores de medições, é agregado o intuito de estabelecer uma relação entre a durabilidade destes sistemas.

De seguida destacam-se as principais observações realizadas ao longo do trabalho:

- Depois de se ter realizado os ensaios de medição da refletância solar “*In Situ*”, verificou-se que as amostras que contêm “cool pigments” e TiO_2 , não variam tanto a sua refletância solar, como as que não tem a presença destes pigmentos inorgânicos, o que de facto é um fator positivo quanto à durabilidade conferida com a adição destes pigmentos;
- As amostras em que os seus valores de refletância solar aumentaram, deveu-se muito ao facto de terem ficado mais claras durante o ano que estiveram expostas às intempéries e condições climáticas, o aumento do parâmetro L^* , que na amostra EPS 7 é perceptível ao olho humano. Nas amostras EPS 1, EPS 6 mantém-se os seus valores de um ano para o outro, assim como nas amostras com a mesma composição, o Preto 3500-ETICS “cool pigments” e o Preto 3500-ETICS respetivamente, mantém os seus valores ao longo dos dois anos de exposição, isto leva a concluir que o sistema que utiliza como isolante térmico placas de poliestireno expandido (EPS), é o melhor sistema em questões de durabilidade da refletância solar do acabamento, pois o mesmo não se verifica para as amostras que utilizam o reboco térmico, que na campanha III os seus valores de refletância descem;

- As amostras com Reboco Térmico tiveram maiores variações, em parâmetros como a cor e a refletância solar. O que leva a concluir que, o sistema que usa como revestimento térmico placas de EPS é mais estável;
- Em relação à temperatura superficial das amostras, a EPS 4 e EPS 5 foram as amostras que obtiveram valores de temperatura superficial constantemente mais elevados, e ambas têm primário na sua constituição, o que leva a concluir que a inclusão do primário nas amostras aumenta as temperaturas superficiais. Dentro do grupo de amostras EPS que foram testadas, com o revestimento final de cor Preto 3500, as amostras que registaram valores mais baixos de temperatura superficial foram as amostras EPS 7 e EPS 1, a primeira devido a uma perda de cor elevada em que foi perceptível a olho humano, baixando assim a sua absortância solar e consequentemente obteve temperaturas superficiais mais baixas, no caso da segunda amostra o facto de não ter o primário na sua composição é determinante em que esta atinja temperaturas mais baixas, conclui-se então que as amostras com primário atingem valores mais altos de temperatura, do que as semelhantes sem primário;
- A amostra EPS 2 (com “cool pigments”), atinge valores mais baixos de temperatura, cerca de 11°C, do que em relação à amostra EPS 4 (sem “cool pigments”);
- A amostra EPS 2 (com primário) atinge temperaturas superficiais mais altas, cerca de 8°C, do que em relação à amostra EPS 1 (sem primário);
- A presença dos pigmentos TiO₂ e “cool pigments”, na composição das amostras, confere uma maior estabilidade da cor;
- Relativamente ao indicador T₁, não serviu para meio de comparação entre as etapas de medições realizadas na campanha III, pois só se realizou apenas a primeira etapa, no entanto este indicador serviu para comparar as medições realizadas nas mesmas amostras, na campanha I e II, as conclusões importantes a retirar desta análise foram que, o afastamento dos indicadores medidos de 2017 e 2018, traduz-se num aumento do valor de um ano para o outro, devido ao desgaste e envelhecimento das amostras, onde se pode concluir que tais amostras onde isto se verifica têm maior tendência a atingirem temperaturas superficiais superiores, o sistema que menos sofreu afastamento foi o EPS 7 e o que mais teve foi o EPS 4 (com primário e sem “cool pigments”);
- Em relação à análise entre a temperatura superficial medida e a calculada verificou-se que o comportamento da temperatura superficial medida é superior nos períodos diurnos e inferior nos períodos noturnos, no período noturno devido à falta de radiação solar global os valores calculados são superiores aos valores medidos, existe também um atraso das medições medidas em relação às calculadas, pois o tempo de resposta às solicitações na realidade não é tão rápido como na teoria;
- Ficou provado nesta dissertação que: quanto maior for o valor da absortância solar maior são as temperaturas superficiais, quanto maior for a temperatura ambiente exterior, em céu limpo, maiores são as temperaturas superficiais, nem sempre quanto maior é a radiação se traduz em temperaturas superficiais elevadas, a presença do primário faz com que se atinjam temperaturas superficiais superiores, a presença dos “cool pigments” faz com que se atinjam temperaturas superficiais inferiores, a presença de TiO₂ faz com que se atinjam temperaturas superficiais inferiores. Por último, as temperaturas superficiais medidas são muito mais agressivas do que as calculadas, ou seja, a diferença entre picos máximos e mínimos é superior nas temperaturas medidas, o que leva a concluir que a durabilidade esperada para este tipo de sistemas, tem que ter em atenção, a amplitude de resultados das temperaturas medidas “*In Situ*”, pois tirar

conclusões sobre a durabilidade dos mesmos, a partir da metodologia simplificada da temperatura ar-sol é irrealista.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No que diz respeito a este tema de investigação existem vários caminhos e aspetos que não foram abordados ainda, mas que o podem vir a ser num futuro desenvolvimento. Posto isto, é exequível enumerar alguns desses assuntos que poderão vir a ser alvos de projetos de investigação e desenvolvimento, no seguimento deste tema:

- Realizar novos ensaios de medição da temperatura superficial com as placas das amostras na vertical, pois na realidade os sistemas de isolamento térmico de fachadas a maior parte das vezes não são aplicados na horizontal;
- Analisar a diferença dos valores apresentados da refletância solar, quando os ensaios de medição são realizados segundo métodos normalizados distintos;
- Calcular as tensões que existem nas superfícies das amostras, devido ao efeito das temperaturas superficiais provocadas pela radiação solar e por consequência as fissuras que daí resultam;
- Realizar o mesmo tipo de ensaios experimentais, mas para sistemas que usem diferentes materiais como isolantes térmicos;
- Utilizar meios informáticos para perceber a diferença entre o desenvolvimento esperado da temperatura das superfícies como o desenvolvimento real medido “*In Situ*”;
- Realizar medições da refletância solar, da variação de cor e da temperatura superficial, nas amostras de EPS da campanha II e construir novas amostras com a mesma constituição, para que fosse possível analisar o envelhecimento nesse grupo de amostras;
- Realizar uma análise às tensões superficiais que acontecem nas amostras com a variações das temperaturas medidas “*In Situ*”, usando a equação $\varepsilon = \alpha_{\text{Dilatação}} \times \Delta T$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFNOR (2008) - NF DTU 26.1 P1-2: Travaux de bâtiment Travaux d'enduits de mortiers Partie 1-2 : Critères généraux de choix des matériaux.
- AKBARI, H.; LEVINSON, R.; BERDAHL, P. (1996) - ASTM standards for measuring solar reflectance and infrared emittance of construction materials and comparing their steady-state surface temperatures.
- APFAC (2014) - PATOLOGIAS DE SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR DO TIPO ETICS.
- (2015) - MANUAL-DE-APLICACAO-ETICS-2015.
- ASTM-G159-91 - Standard Tables for References Solar Spectral Irradiance at Air Mass". Direct Normal and Hemispherical for a 37° Tilted Surface.
- ASTM (2012a) - ASTM E230 / E230M-12: Standard Specification and Temperature-Electromotive Force (emf) Tables for Standardized Thermocouples. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- (2012b) - ASTM E903-12: Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- (2012c) - ASTM G173-03 (2012): Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- (2014) - ASTM C1549-09 (2014): Standard test method for determination of solar reflectance near ambient temperature using a portable solar reflectometer. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- (2015) - ASTM E1918-06 (2015): Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-sloped Surfaces in the Field. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- BARREIRA, Eva Sofia Botelho Machado (2012) - Degradação biológica de fachadas com sistemas de isolamento térmico pelo exterior devida ao desempenho higrotérmico. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Tese de Doutoramento.
- BRAINARD, David H (2003) - Color appearance and color difference specification. The science of color 2: 191-216.
- CARNEIRO, Bruno Daniel Gonçalves (2016) - A influência da cor na temperatura superficial de revestimentos térmicos.
- DORNELLES, Kelen Almeida (2008) - Solar absorptance of opaque surfaces: a determination methods and data base for latex acrylic and PVA coatings. Universidade Estadual de Campinas. Tese de Doutoramento.
- DUFF, Matthew; TOWEY, Joseph (2010) - Two ways to measure temperature using thermocouples feature simplicity, accuracy, and flexibility. Analog dialogue 44:10. 1-6.

- EOTA (2015) - GUIDELINE FOR EUROPEAN TECHNICAL APPROVAL of EXTERNAL THERMAL INSULATION COMPOSITE SYSTEMS (ETICS) WITH RENDERING.
- EOTA, European Organisation for Technical Approvals (2013) - Guideline for european technical approval of external thermal insulation composite systems (ETICS) with rendering - ETAG n.º004. EOTA, Brussels, Belgium.
- EUROPEIAS, Jornal Oficial das Comunidades (1988) - Diretiva dos Produtos de Construção 89/106/CEE.
- EUROPEIAS, Jornal Oficial das Comunidades (2011) - Regulamento dos Produtos da Construção.
- GOBAKIS, K [et al.] (2015) - Development and analysis of advanced inorganic coatings for buildings and urban structures. *Energy and Buildings* 89: 196-205. ISSN 0378-7788.
- GODNJAVEC, J [et al.] (2014) - Investigation of surface modification of rutile TiO₂ nanoparticles with SiO₂/Al₂O₃ on the properties of polyacrylic composite coating. *Progress in Organic Coatings*. 77:1. 47-52. ISSN 0300-9440.
- HENS, Hugo SL (2017) - Building physics-heat, air and moisture: fundamentals and engineering methods with examples and exercises. John Wiley & Sons. ISBN 3433031975.
- HUKSEFLUX, Thermal Sensors (2018) - User manual SR05 - Digital second class pyranometer.
- LEVINSON, Ronnen; BERDAHL, Paul; AKBARI, Hashem (2005) - Solar spectral optical properties of pigments—Part I: model for deriving scattering and absorption coefficients from transmittance and reflectance measurements. *Solar energy materials and solar cells* [Em linha]. 89:4. 319-349. ISSN 0927-0248.
- NORMALIZAÇÃO, Comité Europeu de (2014) - NF EN 12878-Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime - Specifications and methods of test.
- OORSCHOT, H. T., & Colortrend, E. (2012) - "Colourful façade coatings with inorganic colourants". PPCJ - Architectural Coatings.
- PEREIRA, C.P. de Araújo (2000) - A cor no desenho industrial: fundamentos para o projeto cromático de produtos. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.
- PIRI, Negin; SHAMS-NATERI, Ali; MOKHTARI, Javad (2017) - Solar spectral performance of nanopigments. *Solar Energy Materials and Solar Cells* [Em linha]. 162: 72-82. ISSN 0927-0248.
- RCCTE, Portugal; LEIS, Decretos (2006) - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios. DL.
- RYAN, Mark M. (2016) - "High Performance Inorganic Pigments: Complex Inorganic Colored Pigments".
- SÁ, Miguel Reis da Costa e (2017) - A Influência dos Pigmentos Refletantes na Temperatura Superficial dos Revestimentos Térmicos.
- SHARMA, Gaurav; WU, Wencheng; DALAL, Edul N (2005) - The CIEDE2000 color-difference formula: Implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Research & Application* 30:1. 21-30. ISSN 1520-6378.
- SHEN, Lu-wei [et al.] (2016) - Effect of TiO₂ pigment gradation on the properties of thermal insulation coatings. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials* 23:12. 1466-1474. ISSN 1674-4799.

- SILVA, J. A. Raimundo Mendes da; TORRES, Maria Isabel Morais; ABALADA, Vítor Hugo (2009) - Vantagens e condicionantes da aplicação de "ETICS" na reabilitação de fachadas: apoio à decisão e casos de estudo.
- WEATHERALL, Ian L; COOMBS, Bernard D (1992) - Skin color measurements in terms of CIELAB color space values. *Journal of investigative dermatology* 99:4. 468-473. ISSN 0022-202X.
- WEBER, Saint-Gobain (2015) - Ficha Técnica do Sistema weber.therm mechanic.
- (2018a) - Ficha técnica do sistema weber.therm classic.
- (2018b) - Guia de soluções para fachadas termicamente eficientes.
- (2018c) - O guia 2018 WEBER.
- ZHOU, Ao [et al.] (2017) - Enhanced solar spectral reflectance of thermal coatings through inorganic additives. *Energy and Buildings* 138: 641-647. ISSN 0378-7788.

ANEXOS

ANEXOS I – FICHAS DE ENSAIO EXPERIMENTAL

REFLETÂNCIA SOLAR DAS AMOSTRAS ENVELHECIDAS

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	EPS 1								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,313	mA	2º	13,397	mA	3º	13,264	mA
		931,3	W/m ²		939,7	W/m ²		925,4	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,911	mA	2º	8,867	mA	3º	8,852	mA
		491,1	W/m ²		486,7	W/m ²		486,2	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,125	mA	2º	5,15	mA	3º	5,091	mA
		112,5	W/m ²		115	W/m ²		109,1	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,815	mA	2º	5,859	mA	3º	5,834	mA
		181,5	W/m ²		185,9	W/m ²		183,4	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,401	mA	2º	13,283	mA	3º	13,278	mA
		940,1	W/m ²		928,3	W/m ²		927,8	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	8,8			11,4			14		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,246	w/m2	2º	0,253	w/m2	3º	0,258	w/m2
R _t médio	0,25			α			0,75		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	EPS 2								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	12,737	mA	2º	13,431	mA	3º	13,461	mA
		873,7	W/m ²		943,1	W/m ²		946,1	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,517	mA	2º	8,734	mA	3º	8,783	mA
		451,7	W/m ²		473,4	W/m ²		478,3	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,012	mA	2º	5,210	mA	3º	5,15	mA
		101,2	W/m ²		121,9	W/m ²		115	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,618	mA	2º	5,765	mA	3º	5,711	mA
		161,8	W/m ²		176,5	W/m ²		13,431	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	12,776	mA	2º	13,505	mA	3º	13,431	mA
		877,6	W/m ²		950,5	W/m ²		948,1	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	3,9			7,4			3		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2}(R_w - R_b)$								
	1º	0,238	w/m2	2º	0,224	w/m2	3º	0,224	w/m2
R _t médio	0,23			α			0,77		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	EPS 3								
I _H [W/m²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	12,476	mA	2º	12,545	mA	3º	12,545	mA
		847,6	W/m²		854,5	W/m²		854,5	W/m²
I ₁ [W/m²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,37	mA	2º	8,473	mA	3º	8,601	mA
		437	W/m²		447,3	W/m²		460,1	W/m²
I ₂ [W/m²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,135	mA	2º	5,691	mA	3º	5,701	mA
		172,1	W/m²		169,1	W/m²		170,1	W/m²
I ₃ [W/m²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,721	mA	2º	5,691	mA	3º	5,701	mA
		172,1	W/m²		169,1	W/m²		12,697	W/m²
I' _H [W/m²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	12,609	mA	2º	12,56	mA	3º	12,697	mA
		860,9	W/m²		856	W/m²		869,7	W/m²
I' _H -I _H [W/m²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m² Repetir as medições anteriores	13,3		1,5		15,2				
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,245	w/m2	2º	0,225	w/m2	3º	0,234	w/m2
R _t médio	0,23		α		0,77				

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	EPS 4								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,426	mA	2º	13,382	mA	3º	13,397	mA
		942,6	W/m ²		8,719	W/m ²		939,7	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,739	mA	2º	8,719	mA	3º	8,705	mA
		473,9	W/m ²		471,9	W/m ²		470,5	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,283	mA	2º	5,357	mA	3º	5,288	mA
		128,3	W/m ²		135,7	W/m ²		128,8	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,421	mA	2º	5,435	mA	3º	5,366	mA
		142,1	W/m ²		143,5	W/m ²		135,6	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,401	mA	2º	13,431	mA	3º	13,352	mA
		940,1	W/m ²		943,1	W/m ²		935,2	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	2,5			4,9			4,5		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,132	w/m2	2º	0,119	w/m2	3º	0,118	w/m2
R _t médio	0,12			α			0,88		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	EPS 5								
I _H [W/m²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,529	mA	2º	13,441	mA	3º	13,49	mA
		952,9	W/m²		944,1	W/m²		949	W/m²
I ₁ [W/m²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	9,015	mA	2º	8,99	mA	3º	8,951	mA
		501,5	W/m²		499	W/m²		495,1	W/m²
I ₂ [W/m²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,391	mA	2º	5,298	mA	3º	5,312	mA
		139,1	W/m²		129,8	W/m²		131,2	W/m²
I ₃ [W/m²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,908	mA	2º	5,903	mA	3º	5,834	mA
		190,8	W/m²		190,3	W/m²		183,4	W/m²
I' _H [W/m²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,51	mA	2º	190,3	mA	3º	13,584	mA
		951	W/m²		953,9	W/m²		958,4	W/m²
I' _H -I _H [W/m²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m² Repetir as medições anteriores	1,9		9,8		9,4				
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,214	w/m2	2º	0,231	w/m2	3º	0,215	w/m2
R _t médio	0,22		α		0,78				

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	EPS 6								
I _H [W/m²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,677	mA	2º	13,707	mA	3º	13,677	mA
		967,7	W/m²		970,7	W/m²		967,7	W/m²
I ₁ [W/m²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,823	mA	2º	8,842	mA	3º	8,813	mA
		428,3	W/m²		484,2	W/m²		481,3	W/m²
I ₂ [W/m²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,032	mA	2º	5,106	mA	3º	5,096	mA
		103,2	W/m²		110,6	W/m²		109,6	W/m²
I ₃ [W/m²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,15	mA	2º	5,155	mA	3º	5,219	mA
		115	W/m²		115,5	W/m²		121,9	W/m²
I' _H [W/m²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,667	mA	2º	13,707	mA	3º	13,672	mA
		965,7	W/m²		970,7	W/m²		967,2	W/m²
I' _H -I _H [W/m²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m² Repetir as medições anteriores	2		0		0,5				
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,125	w/m2	2º	0,110	w/m2	3º	0,126	w/m2
R _t médio	0,12		α		0,88				

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	EPS 7								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,318	mA	2º	13,269	mA	3º	12,85	mA
		931,8	W/m ²		926,9	W/m ²		885	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,453	mA	2º	8,468	mA	3º	8,325	mA
		445,3	W/m ²		446,8	W/m ²		432,5	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,135	mA	2º	5,091	mA	3º	5,101	mA
		113,5	W/m ²		109,1	W/m ²		110,1	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	6,194	mA	2º	6,179	mA	3º	6,075	mA
		219,4	W/m ²		217,9	W/m ²		207,5	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,303	mA	2º	13,214	mA	3º	12,909	mA
		930,3	W/m ²		921,4	W/m ²		890,9	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	1,5			5,5			5,9		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,355	w/m2	2º	0,358	w/m2	3º	0,342	w/m2
R _t médio	0,35			α			0,65		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	AQ 1								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,638	mA	2º	13,667	mA	3º	13,554	mA
		963,8	W/m ²		966,7	W/m ²		955,4	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,65	mA	2º	8,719	mA	3º	8,601	mA
		465	W/m ²		471,9	W/m ²		460,1	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,056	mA	2º	4,973	mA	3º	5,583	mA
		105,6	W/m ²		97,3	W/m ²		13,549	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,721	mA	2º	5,583	mA	3º	5,687	mA
		172,1	W/m ²		158,3	W/m ²		168,7	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,5	mA	2º	13,549	mA	3º	13,643	mA
		950	W/m ²		954,9	W/m ²		964,3	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	13,8			11,8			8,9		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,248	w/m2	2º	0,230	w/m2	3º	0,232	w/m2
R _t médio	0,24			α			0,76		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	AQ 3								
I_H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	12,599	mA	2º	12,796	mA	3º	12,747	mA
		859,9	W/m ²		879,6	W/m ²		874,7	W/m ²
I_1 [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,473	mA	2º	8,498	mA	3º	8,498	mA
		447,3	W/m ²		449,8	W/m ²		449,8	W/m ²
I_2 [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,16	mA	2º	5,184	mA	3º	5,17	mA
		116	W/m ²		118,4	W/m ²		117	W/m ²
I_3 [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,657	mA	2º	5,637	mA	3º	5,647	mA
		165,7	W/m ²		163,7	W/m ²		164,7	W/m ²
I'_H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	12,781	mA	2º	12,806	mA	3º	12,885	mA
		878,1	W/m ²		880,6	W/m ²		888,5	W/m ²
$ I'_H - I_H $ [W/m ²] Se $ I'_H - I_H > 20$ W/m ² Repetir as medições anteriores	18,2		1		13,8				
R_t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,220	w/m2	2º	0,209	w/m2	3º	0,215	w/m2
R_t médio	0,21		α		0,79				

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	AS 3								
I_H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	11,988	mA	2º	12,141	mA	3º	12,235	mA
		798,8	W/m ²		814,1	W/m ²		823,5	W/m ²
I_1 [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,276	mA	2º	8,444	mA	3º	8,537	mA
		427,6	W/m ²		444,4	W/m ²		453,7	W/m ²
I_2 [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,061	mA	2º	5,16	mA	3º	5,145	mA
		106,1	W/m ²		116	W/m ²		114,5	W/m ²
I_3 [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,613	mA	2º	5,716	mA	3º	5,77	mA
		161,3	W/m ²		171,6	W/m ²		177	W/m ²
I'_H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	12,112	mA	2º	12,195	mA	3º	12,225	mA
		811,2	W/m ²		819,5	W/m ²		822,5	W/m ²
$ I'_H - I_H $ [W/m ²] Se $ I'_H - I_H > 20$ W/m ² Repetir as medições anteriores	12,4			5,4			1		
R_t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,237	w/m2	2º	0,235	w/m2	3º	0,247	w/m2
R_t médio	0,24			α			0,76		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	Fr 1								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	11,6	mA	2º	11,506	mA	3º	11,659	mA
		760	W/m ²		750,6	W/m ²		765,9	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	7,996	mA	2º	7,784	mA	3º	8,001	mA
		750,6	W/m ²		378,4	W/m ²		400,1	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	4,928	mA	2º	5,056	mA	3º	4,992	mA
		92,8	W/m ²		105,6	W/m ²		99,2	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,785	mA	2º	5,77	mA	3º	5,765	mA
		178,5	W/m ²		177	W/m ²		176,5	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	11,619	mA	2º	11,422	mA	3º	11,76	mA
		761,9	W/m ²		742,2	W/m ²		776	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	1,9		8,4		10,1				
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,323	w/m2	2º	0,309	w/m2	3º	0,306	w/m2
R _t médio	0,31		α		0,69				

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	Fr 2								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	11,84 6	mA	2º	11,87 5	mA	3º	11,95 4	mA
		784,6	W/m ²		787,5	W/m ²		795,4	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,099	mA	2º	8,207	mA	3º	8,212	mA
		409,9	W/m ²		420,7	W/m ²		421,2	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	4,909	mA	2º	5,215	mA	3º	5,096	mA
		90,9	W/m ²		121,5	W/m ²		109,6	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,559	mA	2º	5,888	mA	3º	5,775	mA
		155,9	W/m ²		188,8	W/m ²		177,5	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	11,88 5	mA	2º	11,93 4	mA	3º	12,01 3	mA
		788,5	W/m ²		793,4	W/m ²		801,3	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	3,9		5,9		5,9				
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,263	w/m2	2º	0,280	w/m2	3º	0,274	w/m2
R _t médio	0,27		α		0,73				

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	Fr 3								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	12,25 4	mA	2º	12,30 8	mA	3º	13,31 3	mA
		825,4	W/m ²		830,8	W/m ²		931,3	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,286	mA	2º	8,424	mA	3º	8,887	mA
		428,6	W/m ²		442,4	W/m ²		488,7	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,174	mA	2º	5,056	mA	3º	7,203	mA
		117,4	W/m ²		105,6	W/m ²		320,3	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,288	mA	2º	5,179	mA	3º	7,292	mA
		128,8	W/m ²		117,9	W/m ²		329,2	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	12,33 3	mA	2º	12,37 2	mA	3º	13,26 8	mA
		833,3	W/m ²		837,2	W/m ²		926,8	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²] Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	7,9			6,4			4,5		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,129	w/m2	2º	0,129	w/m2	3º	0,142	w/m2
R _t médio	0,13			α			0,87		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	Branco 0919								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,03 7	mA	2º	13,08 6	mA	3º	12,89 9	mA
		903,7	W/m ²		908,6	W/m ²		889,9	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,453	mA	2º	8,375	mA	3º	8,143	mA
		445,3	W/m ²		437,5	W/m ²		414,3	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	4,958	mA	2º	5,042	mA	3º	5,16	mA
		95,8	W/m ²		104,2	W/m ²		116	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	7,228	mA	2º	7,173	mA	3º	7,04	mA
		322,8	W/m ²		317,3	W/m ²		304	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,09 1	mA	2º	12,91 4	mA	3º	12,98 3	mA
		909,1	W/m ²		891,4	W/m ²		898,3	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	5,4			17,2			8,4		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,620	w/m2	2º	0,611	w/m2	3º	0,604	w/m2
R _t médio	0,61			α			0,39		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	Preto 3500-ETICS								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,79	mA	2º	13,84	mA	3º	13,79	mA
		979	W/m ²		984	W/m ²		979	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	9,02	mA	2º	9,03	mA	3º	9,049	mA
		502	W/m ²		503	W/m ²		504,9	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,174	mA	2º	5,194	mA	3º	5,115	mA
		117,4	W/m ²		119,4	W/m ²		111,5	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,268	mA	2º	5,268	mA	3º	5,234	mA
		126,8	W/m ²		126,8	W/m ²		123,4	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,89 4	mA	2º	13,83 5	mA	3º	13,78 6	mA
		989,4	W/m ²		983,5	W/m ²		978,6	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	10,4			0,5			0,4		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,120	w/m2	2º	0,115	w/m2	3º	0,124	w/m2
R _t médio	0,12			α			0,88		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	Preto 3500-ETICS “cool pigments”								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,21 9	mA	2º	13,47 5	mA	3º	13,38 2	mA
		921,9	W/m ²		947,5	W/m ²		938,2	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,862	mA	2º	9,108	mA	3º	9,113	mA
		486,2	W/m ²		510,8	W/m ²		511,3	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,14	mA	2º	5,091	mA	3º	5,253	mA
		114	W/m ²		109,1	W/m ²		125,3	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,952	mA	2º	5,874	mA	3º	5,253	mA
		195,2	W/m ²		109,1	W/m ²		125,3	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,35 7	mA	2º	13,59 8	mA	3º	13,51 5	mA
		935,7	W/m ²		959,8	W/m ²		951,5	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	13,8			12,3			13,3		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,275	w/m2	2º	0,256	w/m2	3º	0,273	w/m2
R _t médio	0,27			α			0,73		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	Preto 3500-Reboco Térmico								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,569	mA	2º	13,736	mA	3º	13,79	mA
		956,9	W/m ²		973,6	W/m ²		979	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	8,887	mA	2º	8,941	mA	3º	8,892	mA
		488,7	W/m ²		494,1	W/m ²		489,2	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,061	mA	2º	5,04	mA	3º	5,101	mA
		106,1	W/m ²		104	W/m ²		110,1	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	5,115	mA	2º	5,125	mA	3º	5,155	mA
		111,5	W/m ²		112,5	W/m ²		115,5	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,751	mA	2º	13,781	mA	3º	13,776	mA
		975,1	W/m ²		978,1	W/m ²		977,6	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]	18,2			4,5			1,4		
Se I' _H -I _H > 20 W/m ²									
Repetir as medições anteriores									
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,111	w/m2	2º	0,117	w/m2	3º	0,111	w/m2
R _t médio	0,11			α			0,89		

Medição da Refletância Solar "In Situ" segundo o Método Alternativo E1918A									
Amostra	Preto 3500-Reboco Térmico “cool pigments”								
I _H [W/m ²]	Irradiância Solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,766	mA	2º	13,786	mA	3º	13,682	mA
		976,6	W/m ²		978,6	W/m ²		968,2	W/m ²
I ₁ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara opaca								
	1º	9,325	mA	2º	9,251	mA	3º	8,99	mA
		532,5	W/m ²		525,1	W/m ²		499	W/m ²
I ₂ [W/m ²]	Irradiância solar da máscara preta								
	1º	5,672	mA	2º	5,819	mA	3º	5,13	mA
		167,2	W/m ²		181,9	W/m ²		113	W/m ²
I ₃ [W/m ²]	Irradiância solar da amostra								
	1º	6,199	mA	2º	6,356	mA	3º	5,76	mA
		219,9	W/m ²		235,6	W/m ²		176	W/m ²
I' _H [W/m ²]	Irradiância solar total incidente numa superfície horizontal								
	1º	13,662	mA	2º	13,874	mA	3º	13,82	mA
		966,2	W/m ²		987,4	W/m ²		982	W/m ²
I' _H -I _H [W/m ²]									
Se I' _H -I _H > 20 W/m ² Repetir as medições anteriores	10,4			8,8			13,8		
R _t	$R_t = R_b + \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} (R_w - R_b)$								
	1º	0,215	w/m2	2º	0,225	w/m2	3º	0,231	w/m2
R _t médio	0,22			α			0,78		

ANEXOS II – GRÁFICOS TEMPERATURA SUPERFICIAL “IN SITU” VS TEMPERATURA SUPERFICIAL CALCULADA

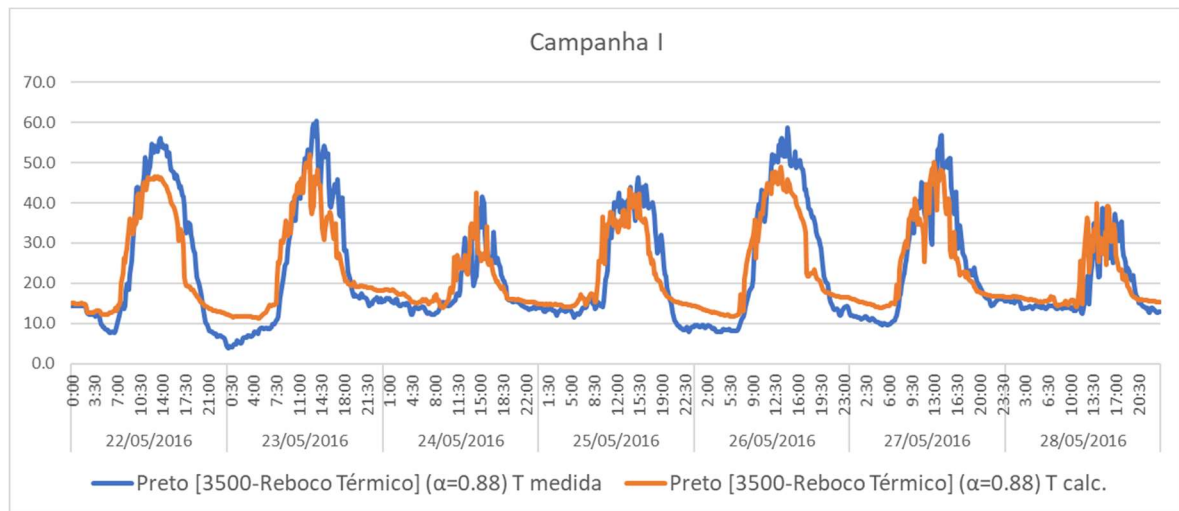


Figura 1 – Comportamento da temperatura superficial medida “In situ”, comparativamente com a temperatura calculada (Preto 3500 – Reboco Térmico)

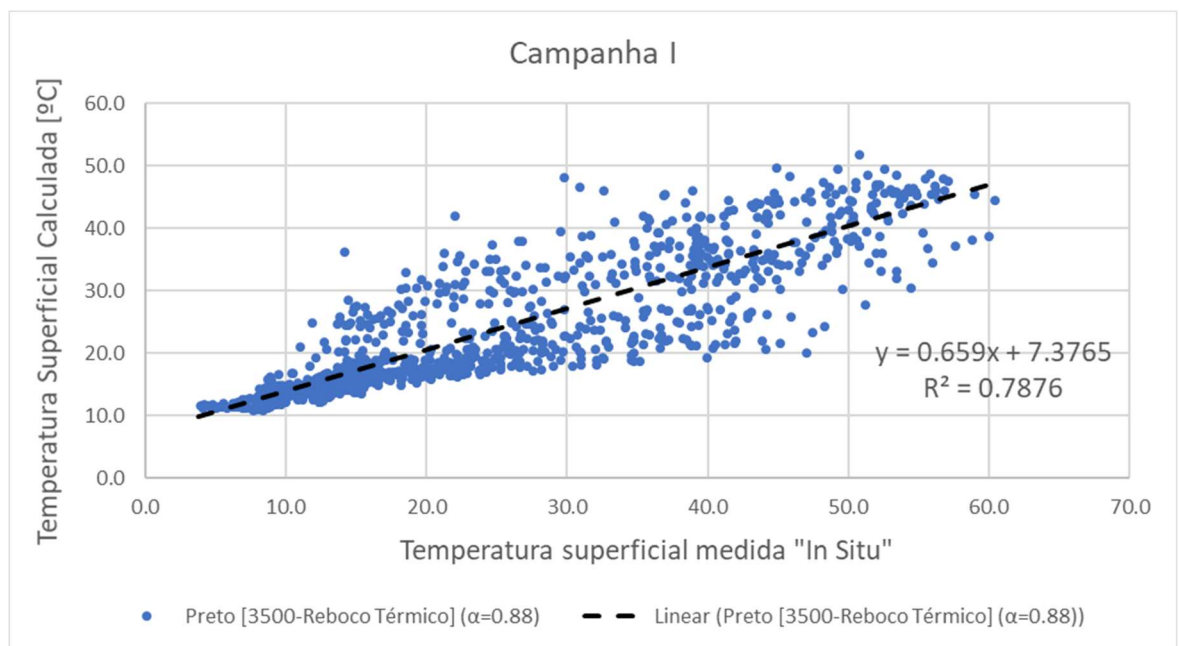


Figura 2 – Gráfico de dispersão da Temperatura medida “In Situ” vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Preto 3500 – Reboco Térmico)

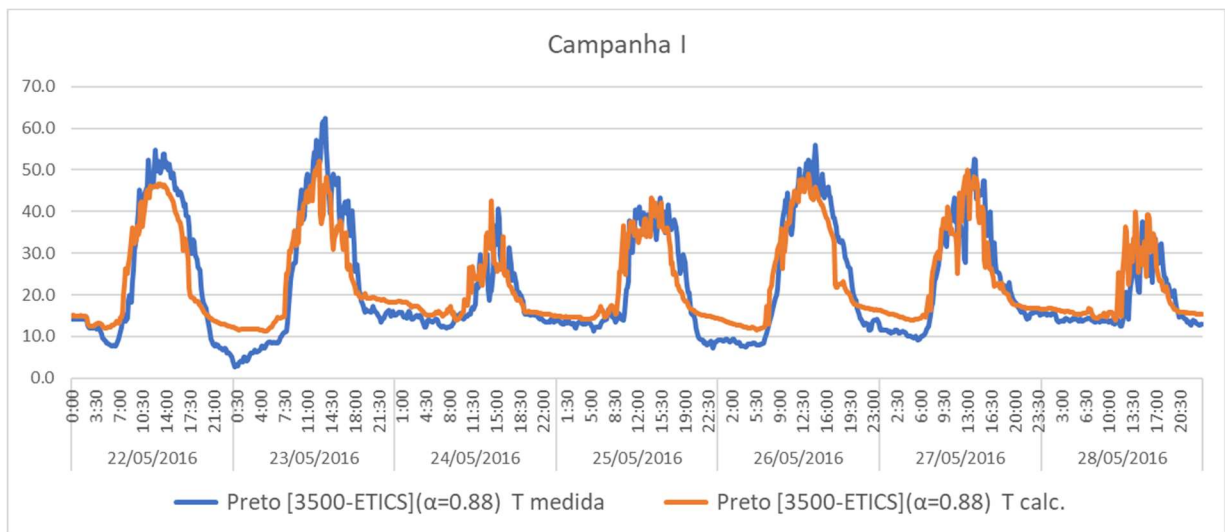


Figura 3 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Preto 3500-ETICS)

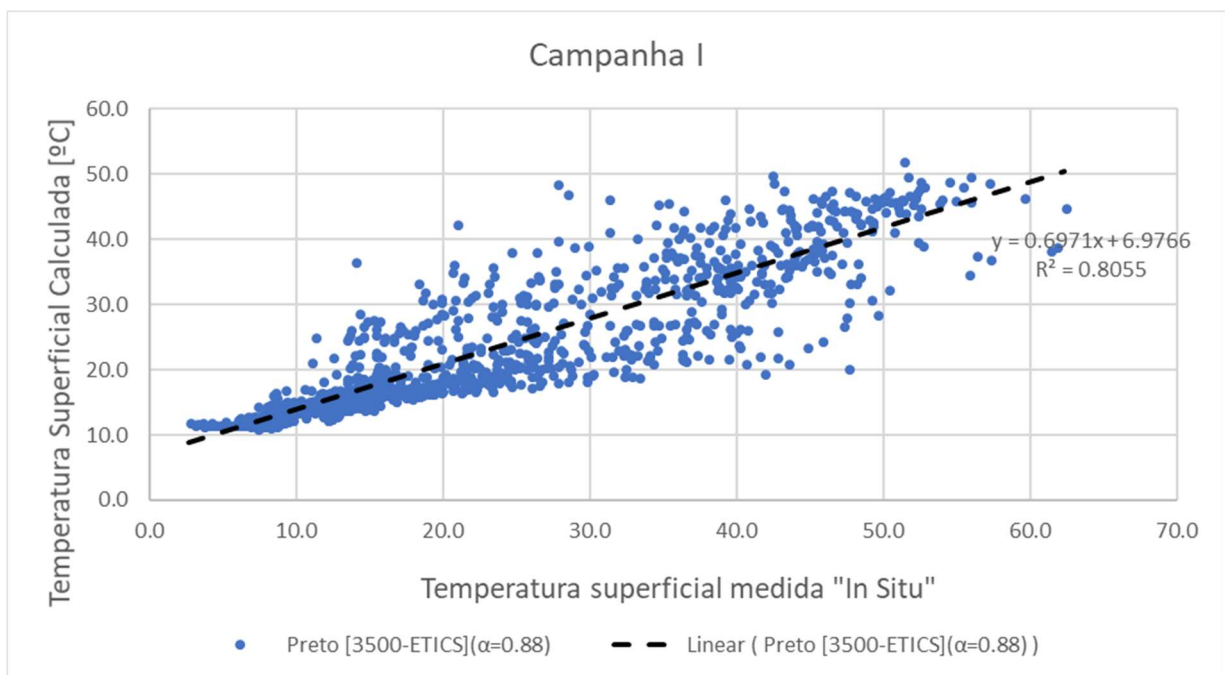


Figura 4 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Preto 3500-ETICS)

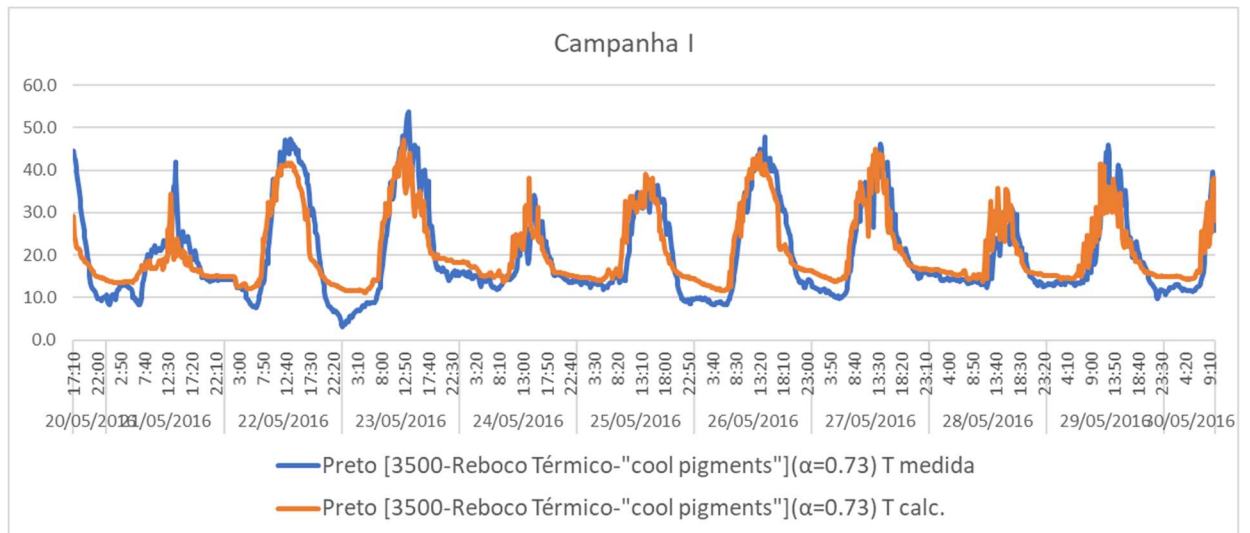


Figura 5 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Preto 3500-Reboco Térmico "cool pigments")

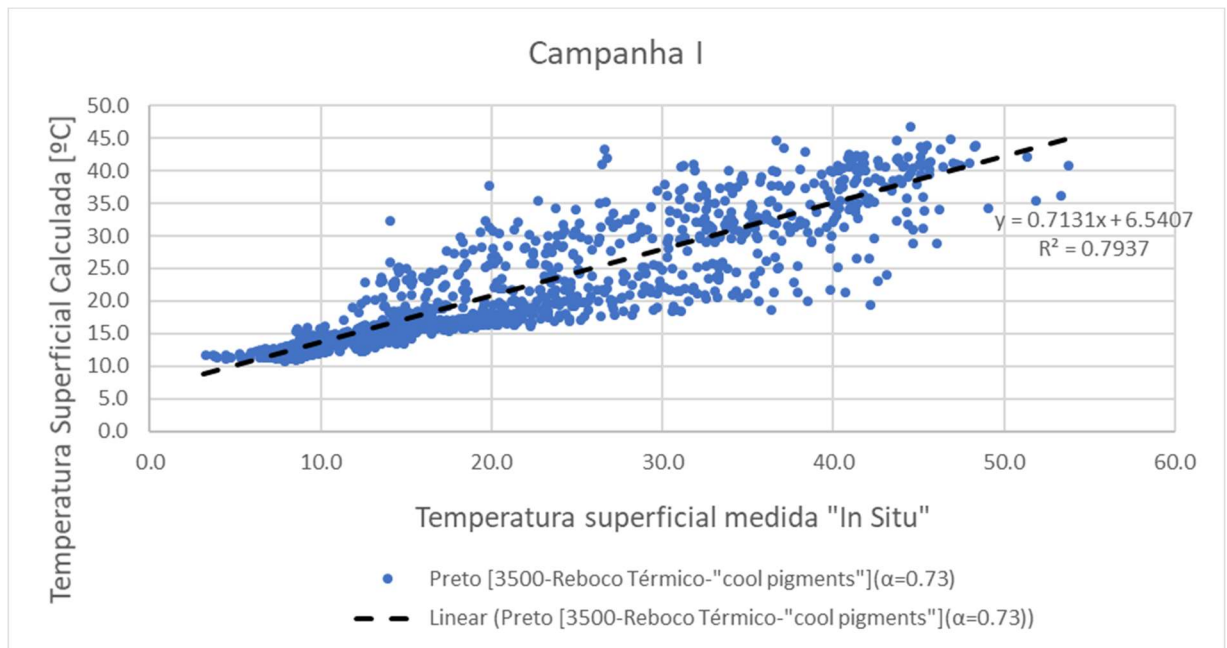


Figura 6 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Preto 3500-Reboco Térmico "cool pigments")

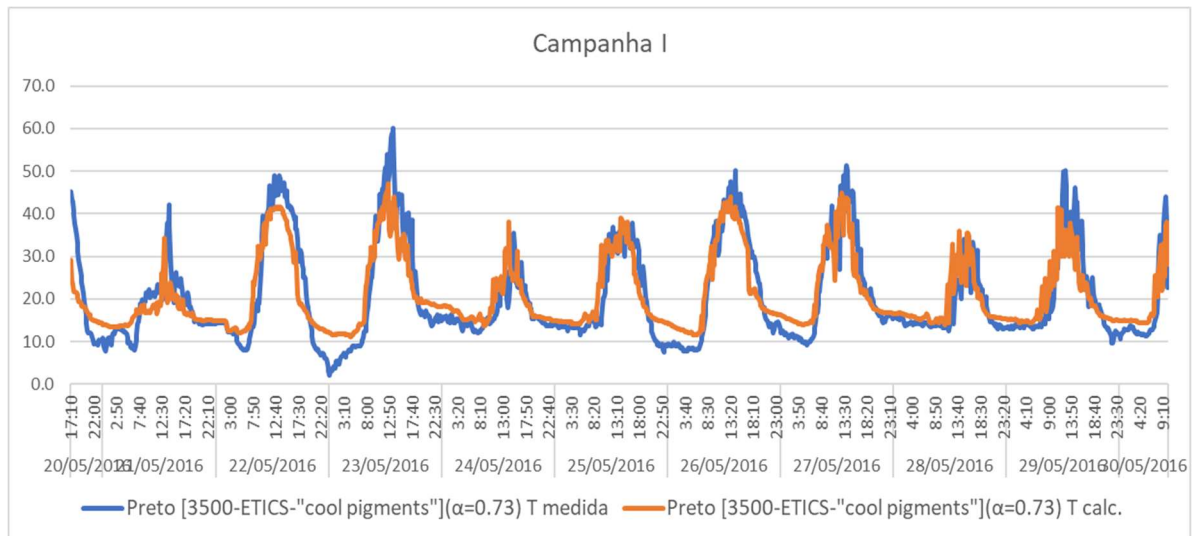


Figura 7 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Preto 3500-ETICS "cool pigments")

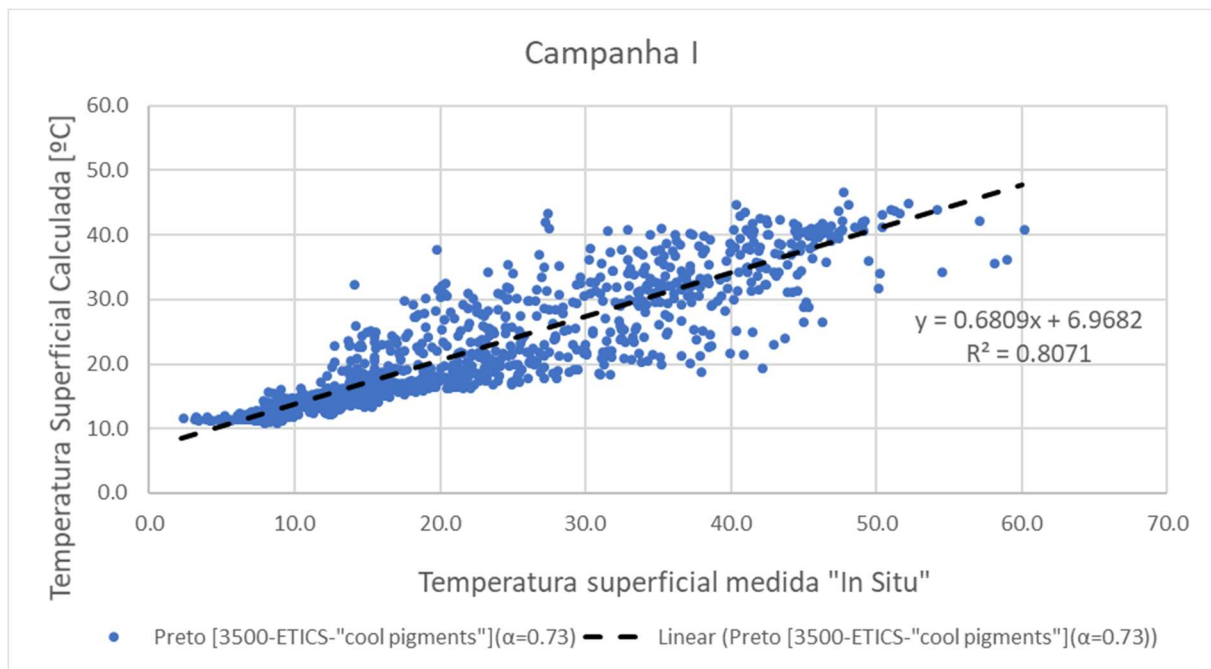


Figura 8 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Preto 3500-ETICS "cool pigments")

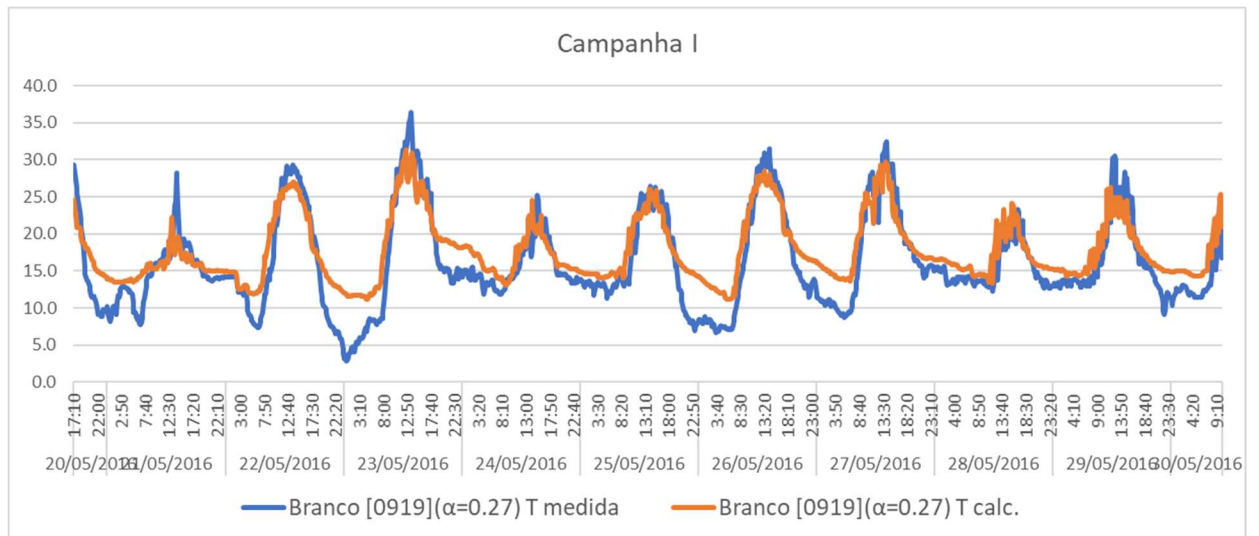


Figura 9 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Branco)

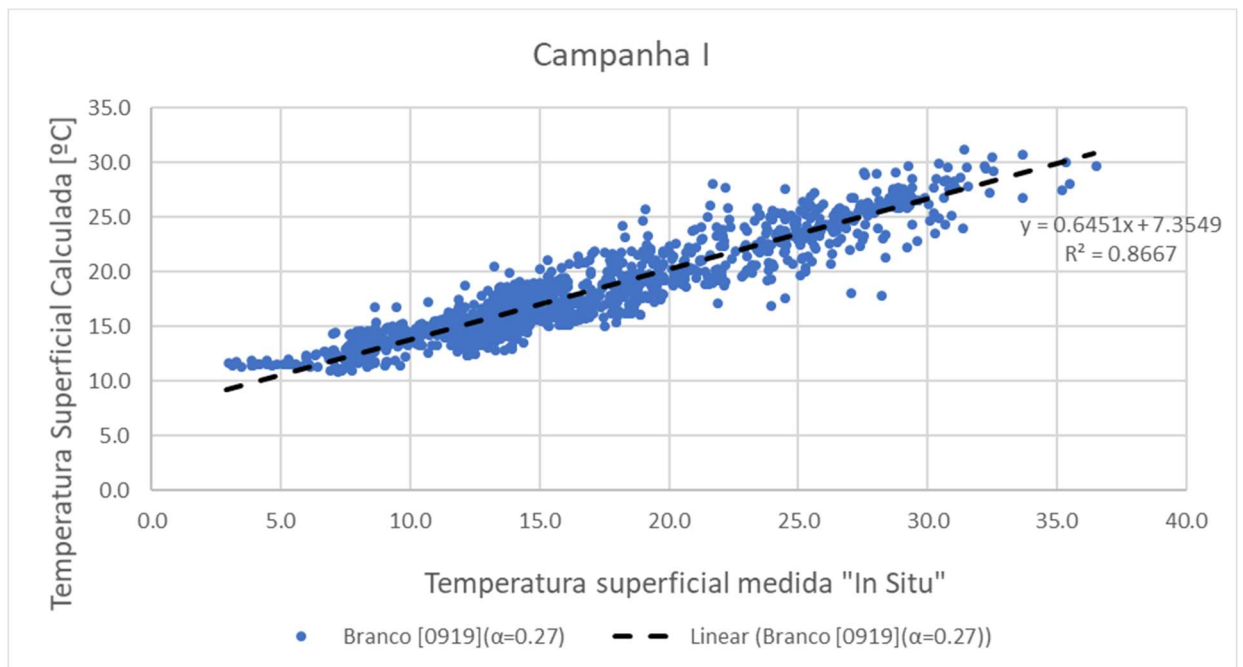


Figura 10 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Branco)

4.5.2. CAMPANHA II

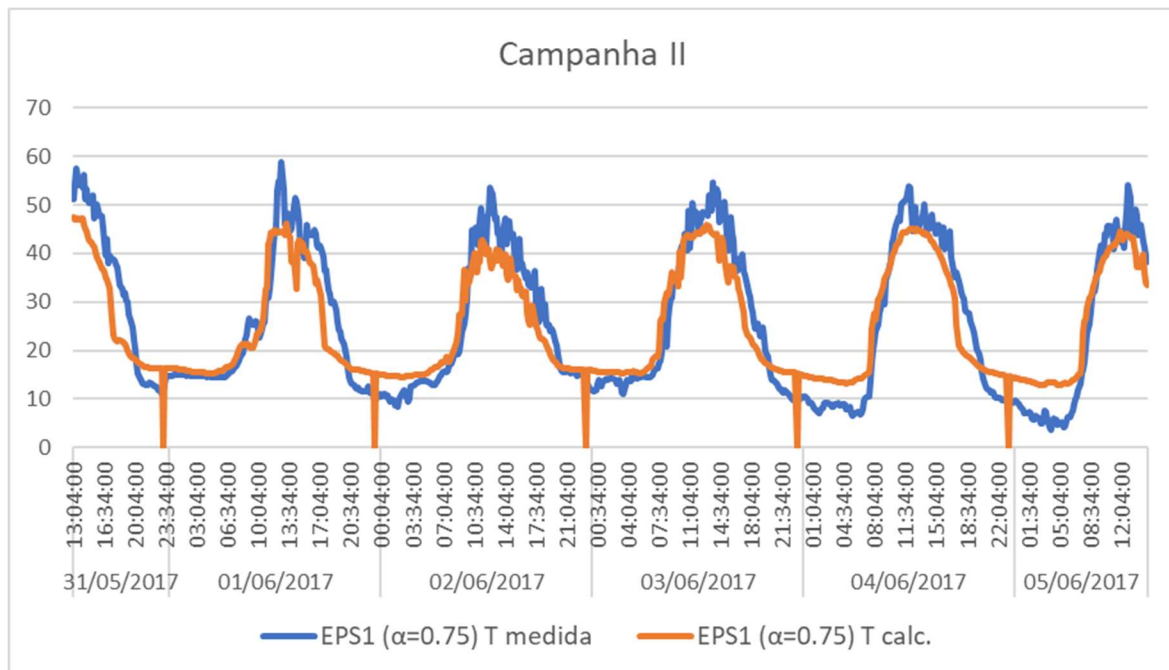


Figura 11 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS1)

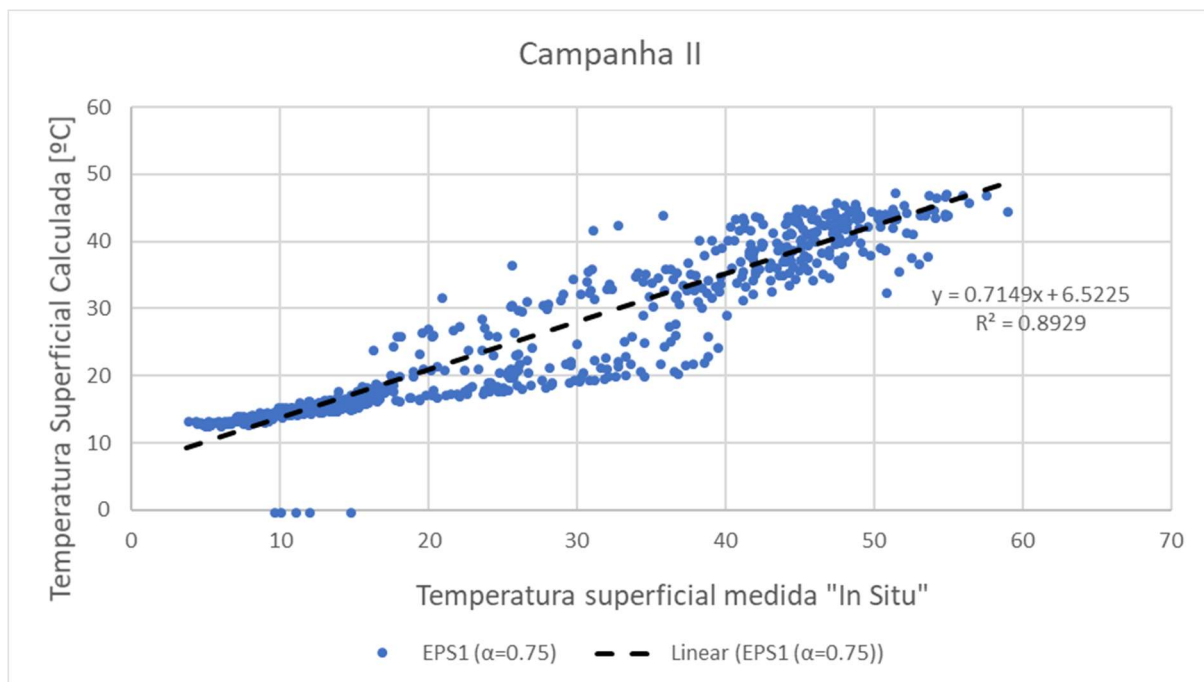


Figura 12 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS1)

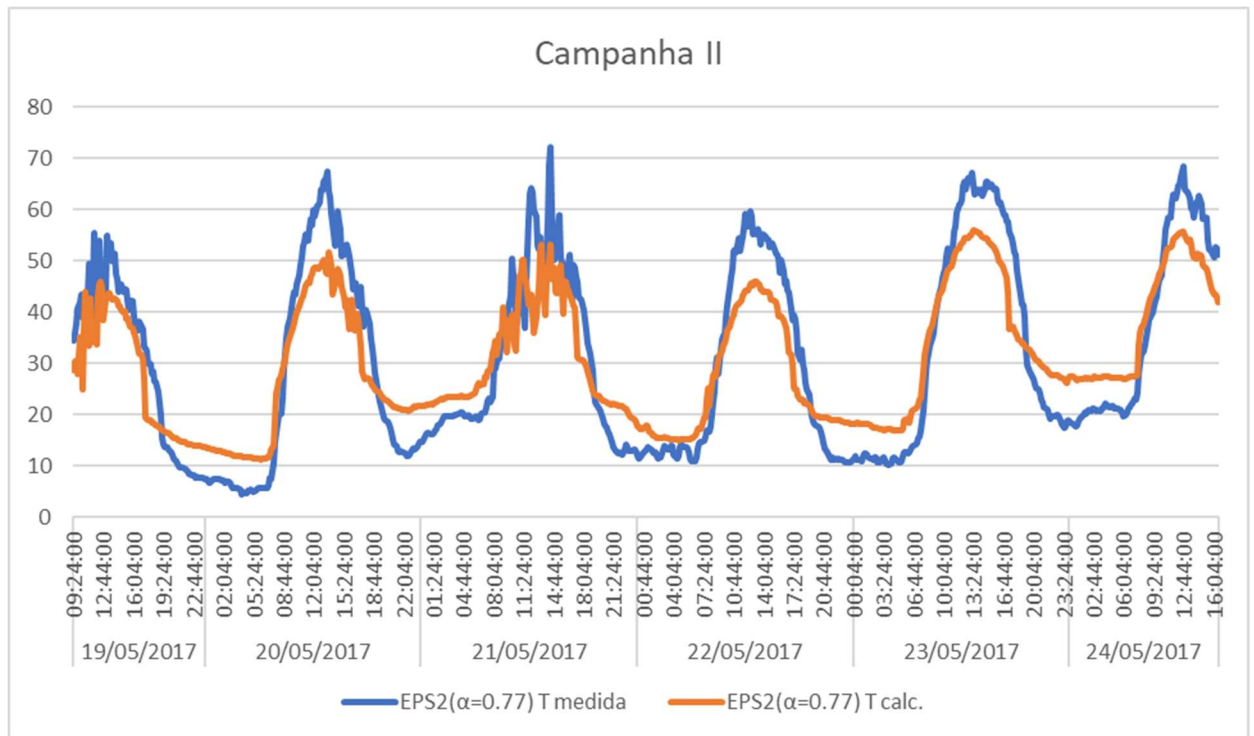


Figura 13 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS2)

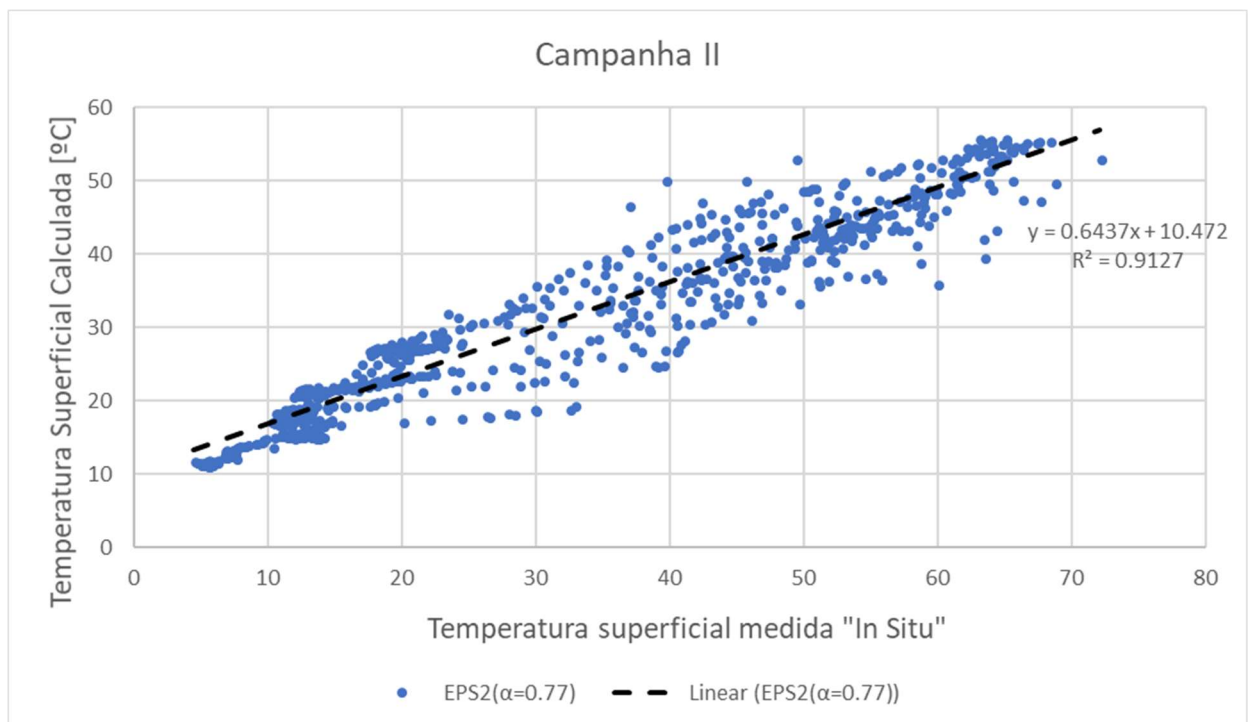


Figura 14 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS2)

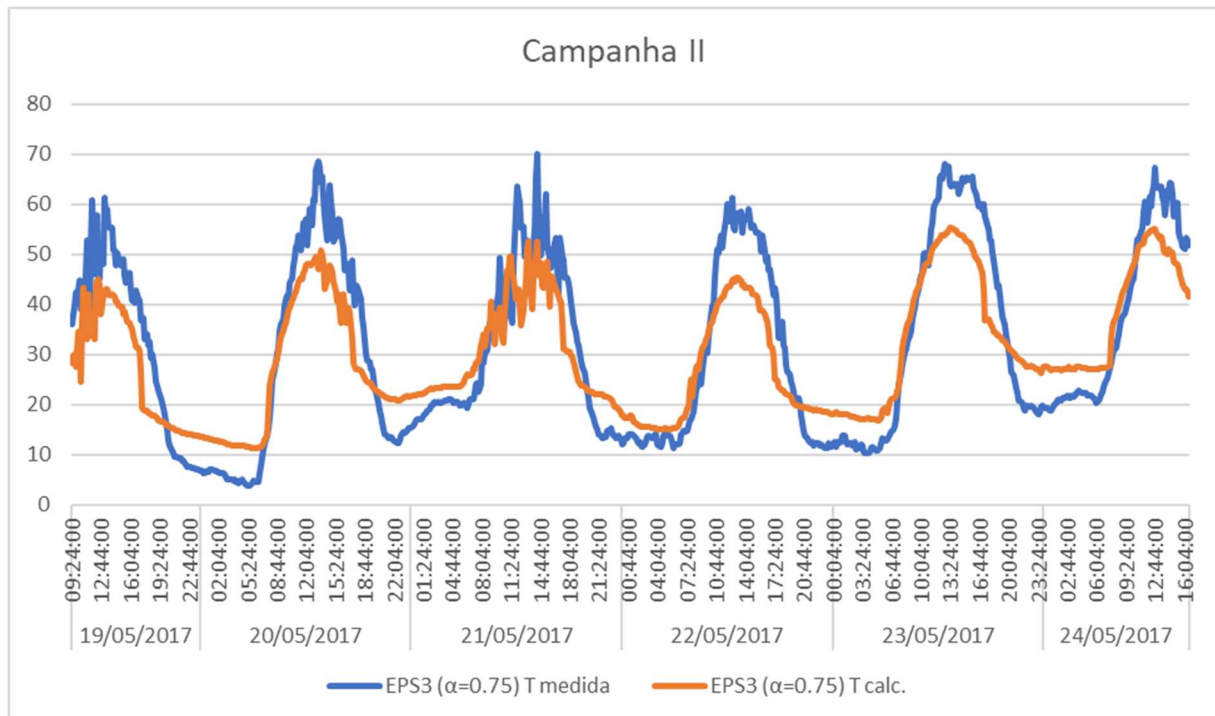


Figura 15 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS3)

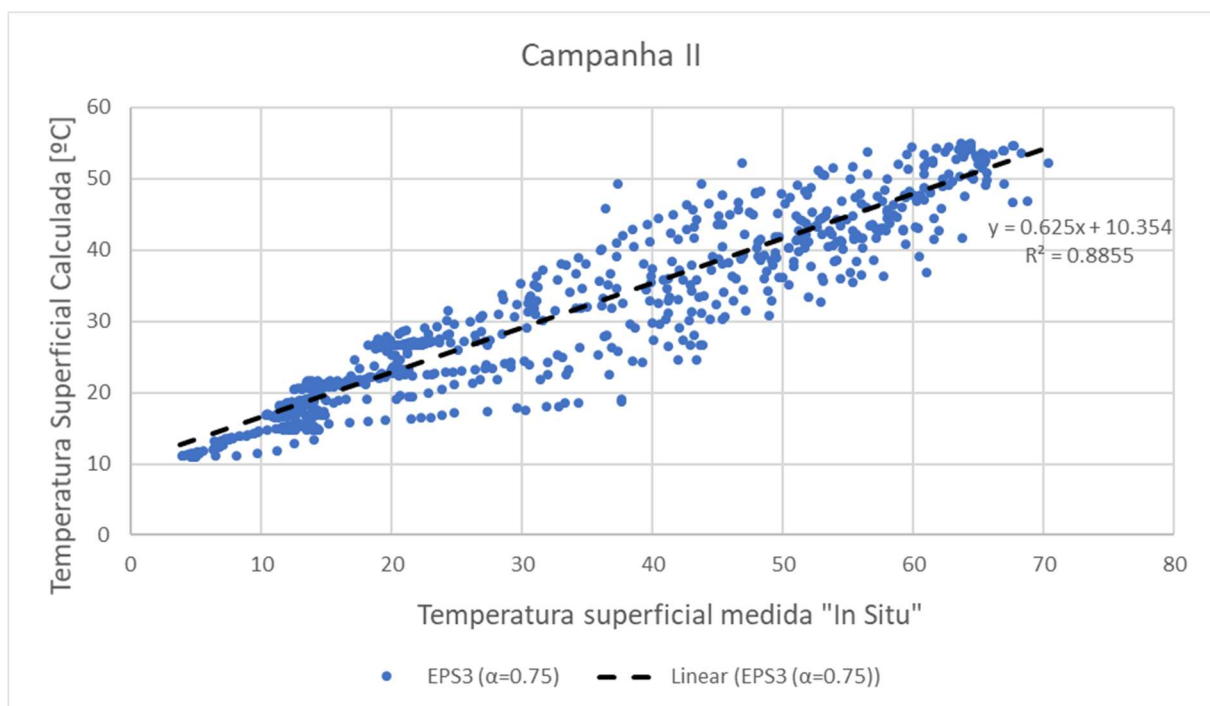


Figura 16 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS3)

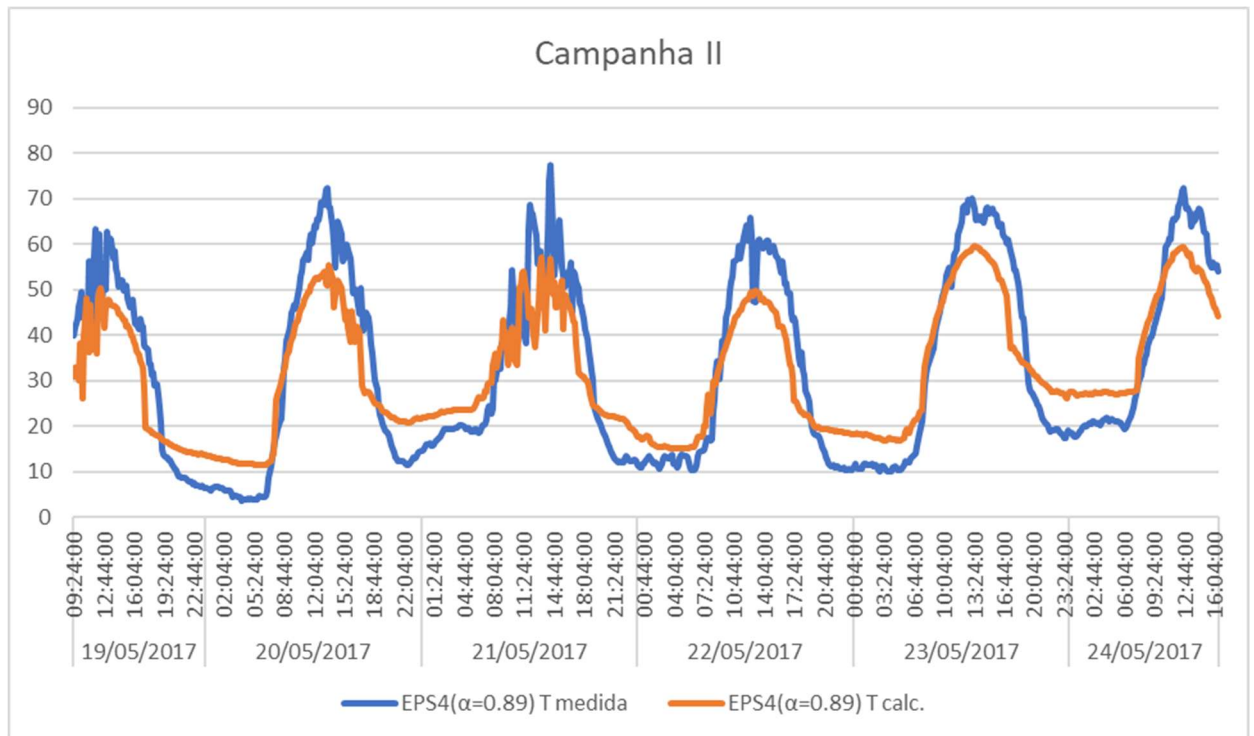


Figura 17 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS4)

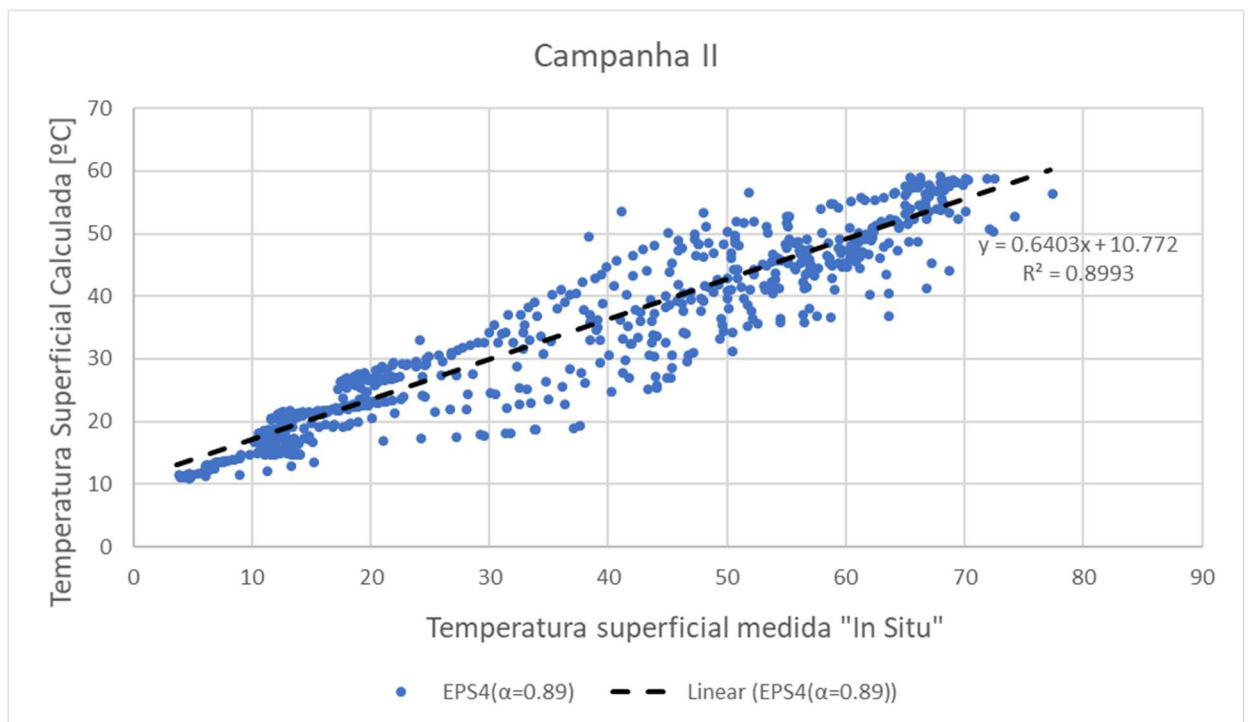


Figura 18 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS4)

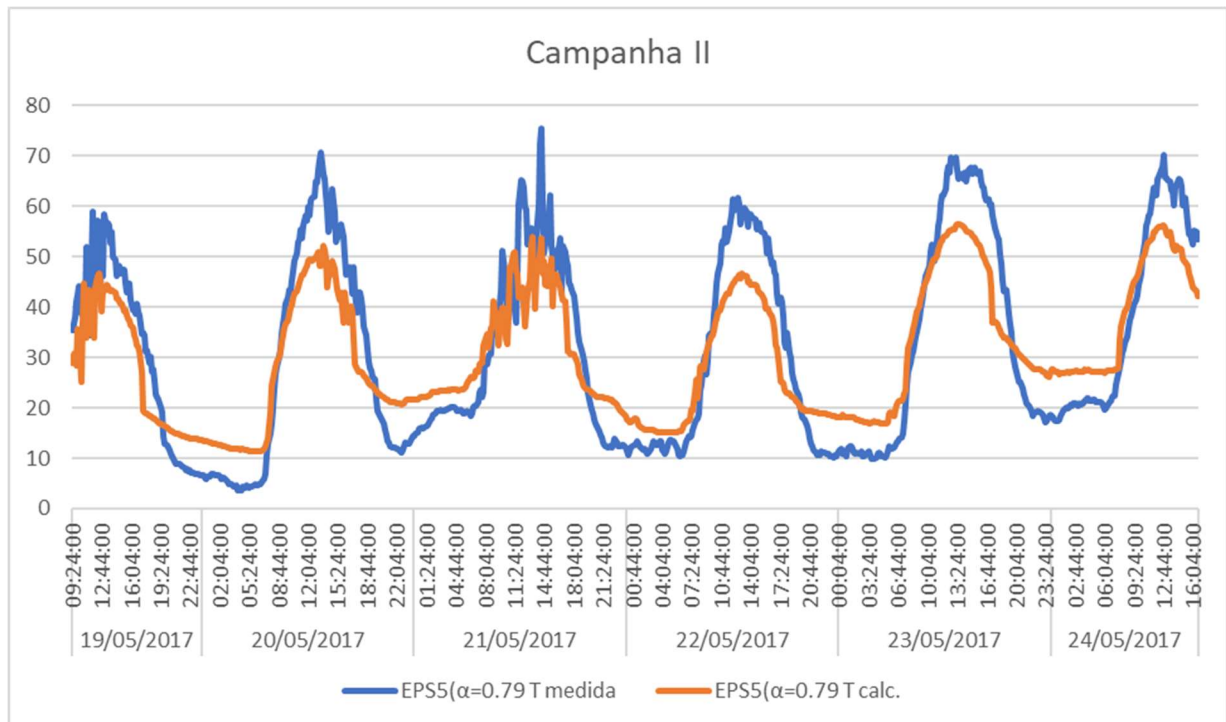


Figura 19 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS5)

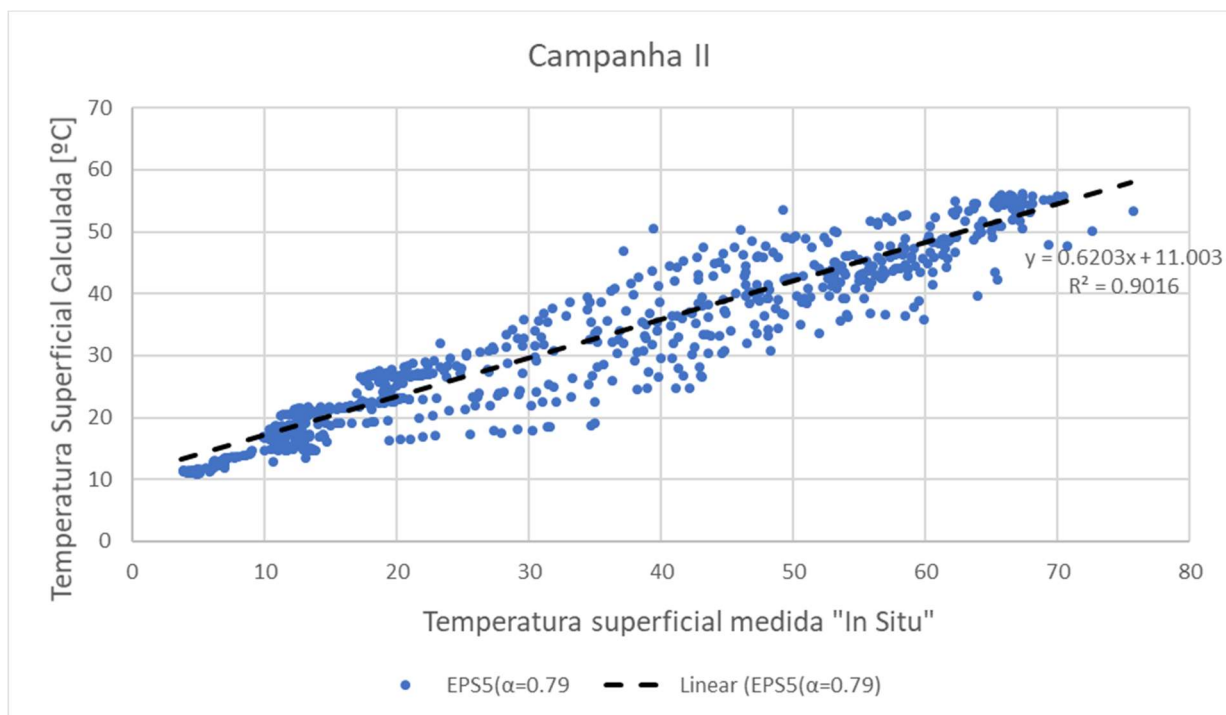


Figura 20 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS5)

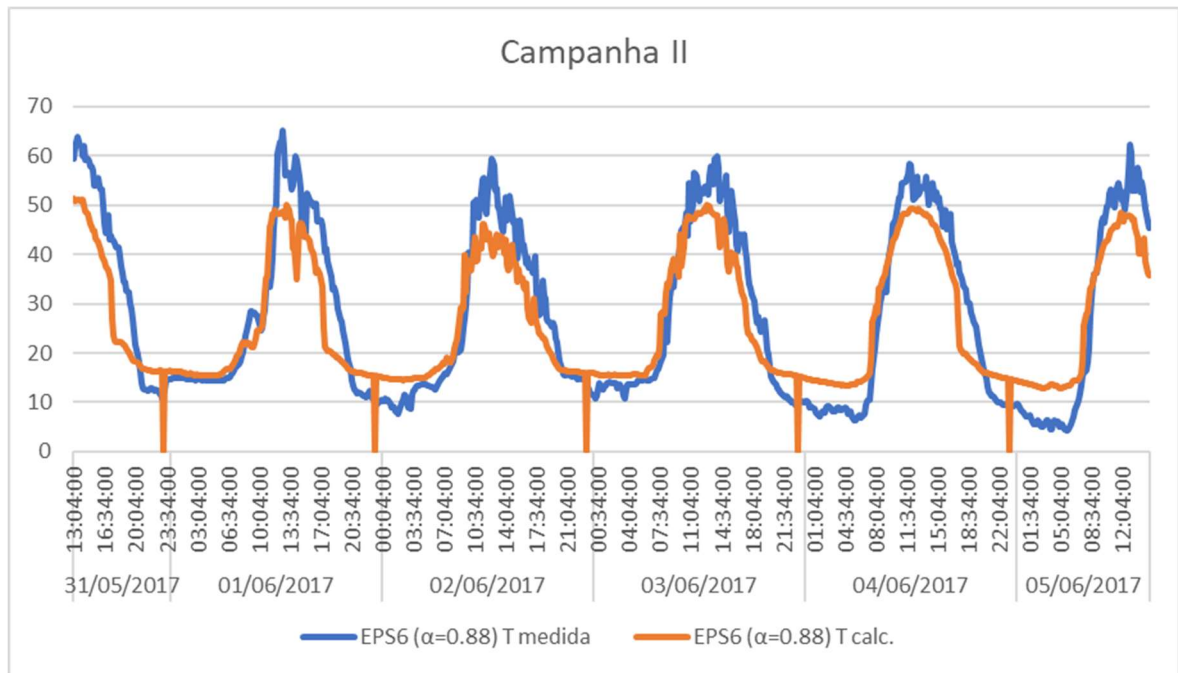


Figura 21 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS6)

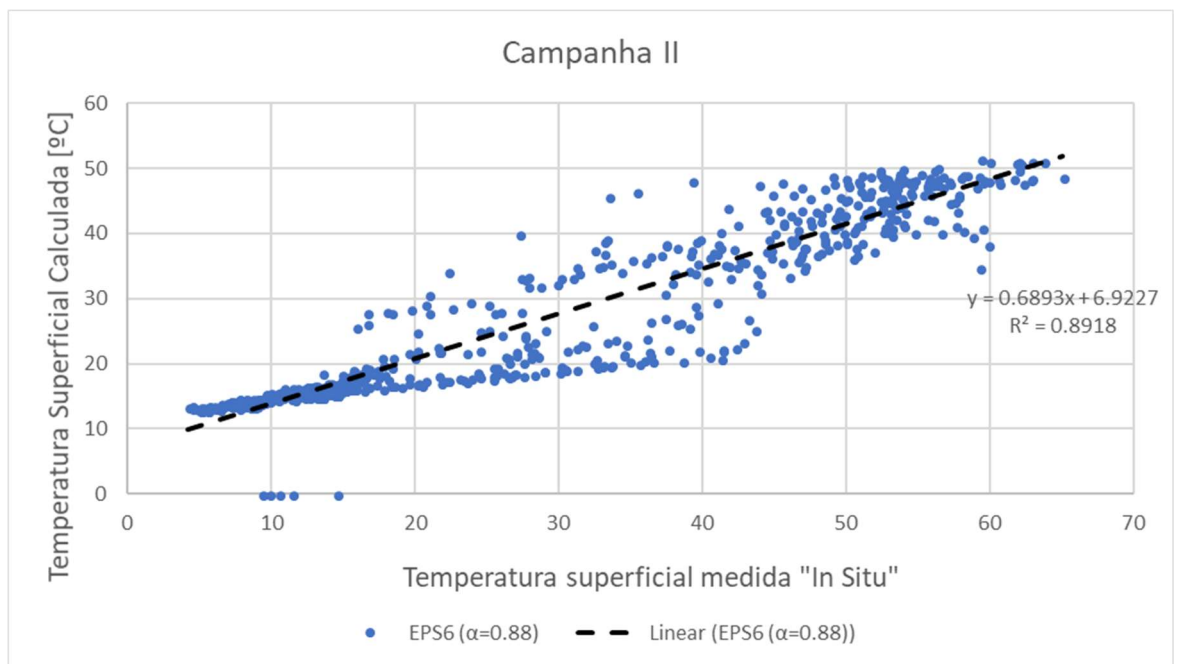


Figura 22 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS6)

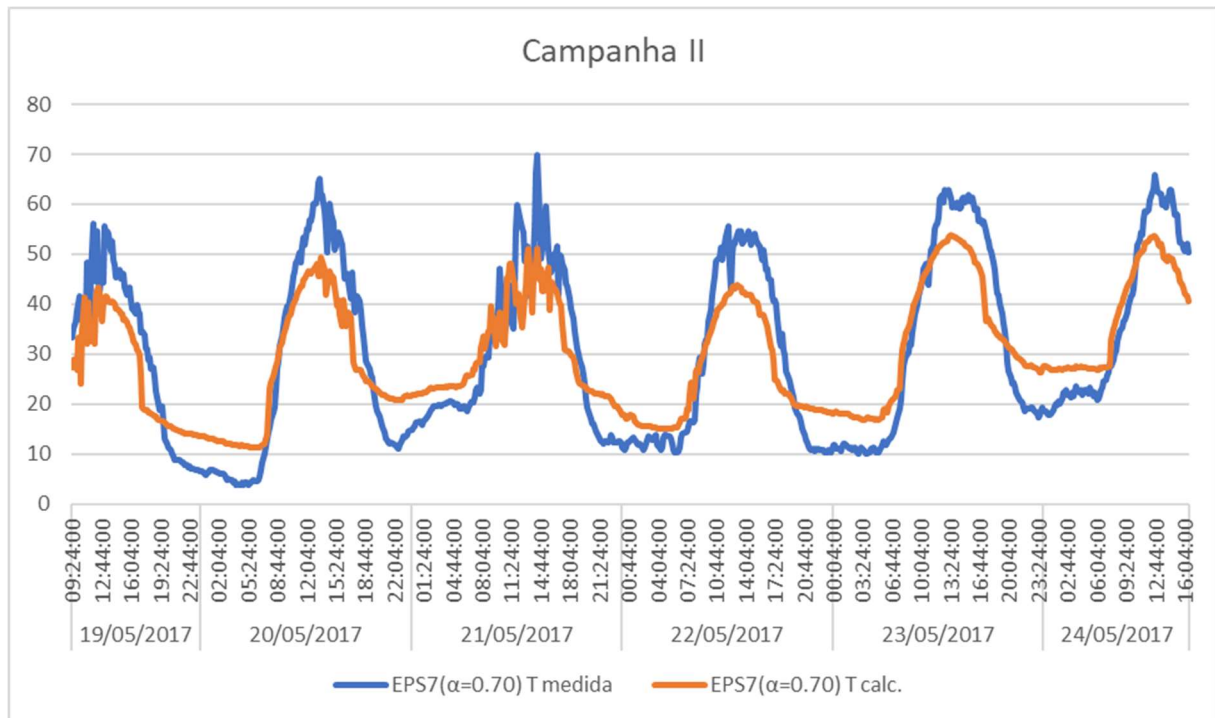


Figura 23 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS7)

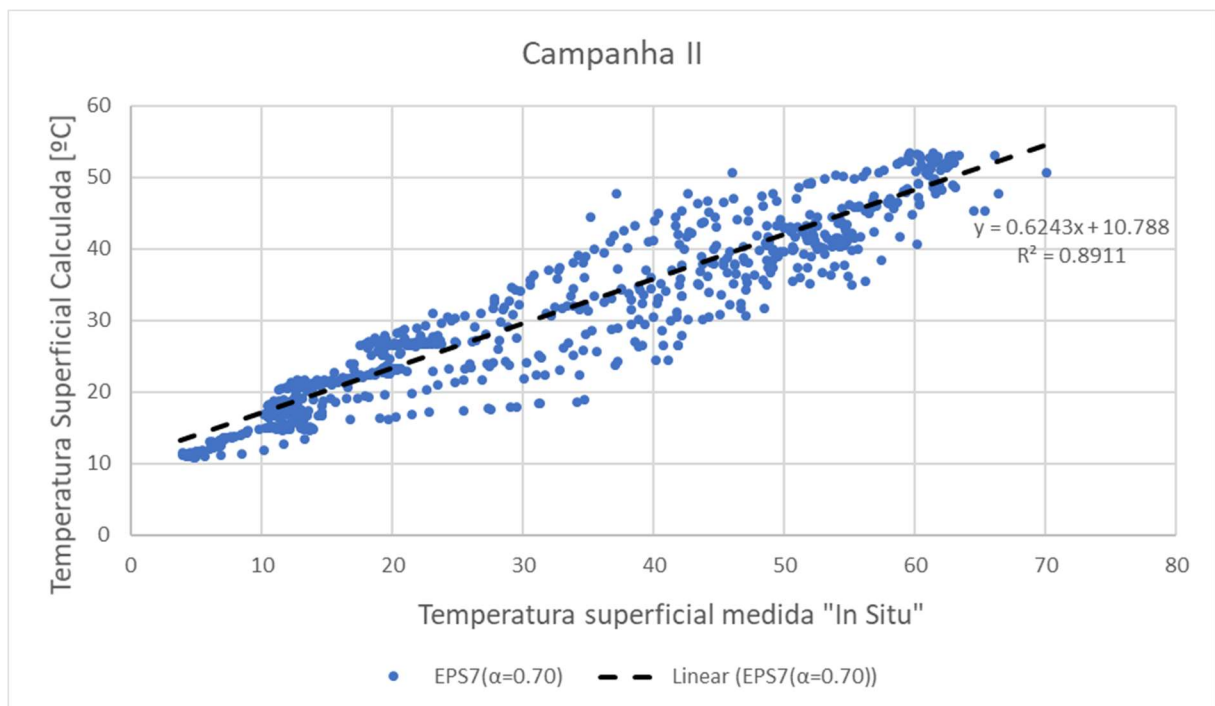


Figura 24 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS7)

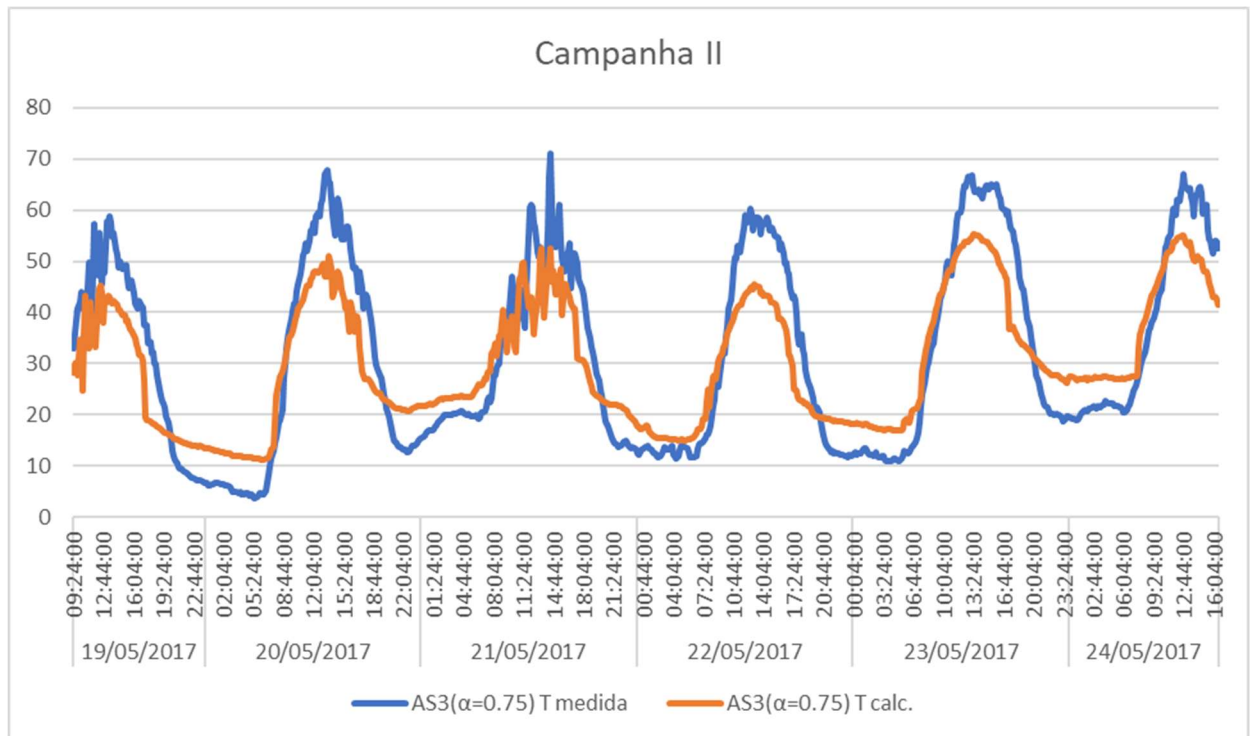


Figura 25 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (AS3)

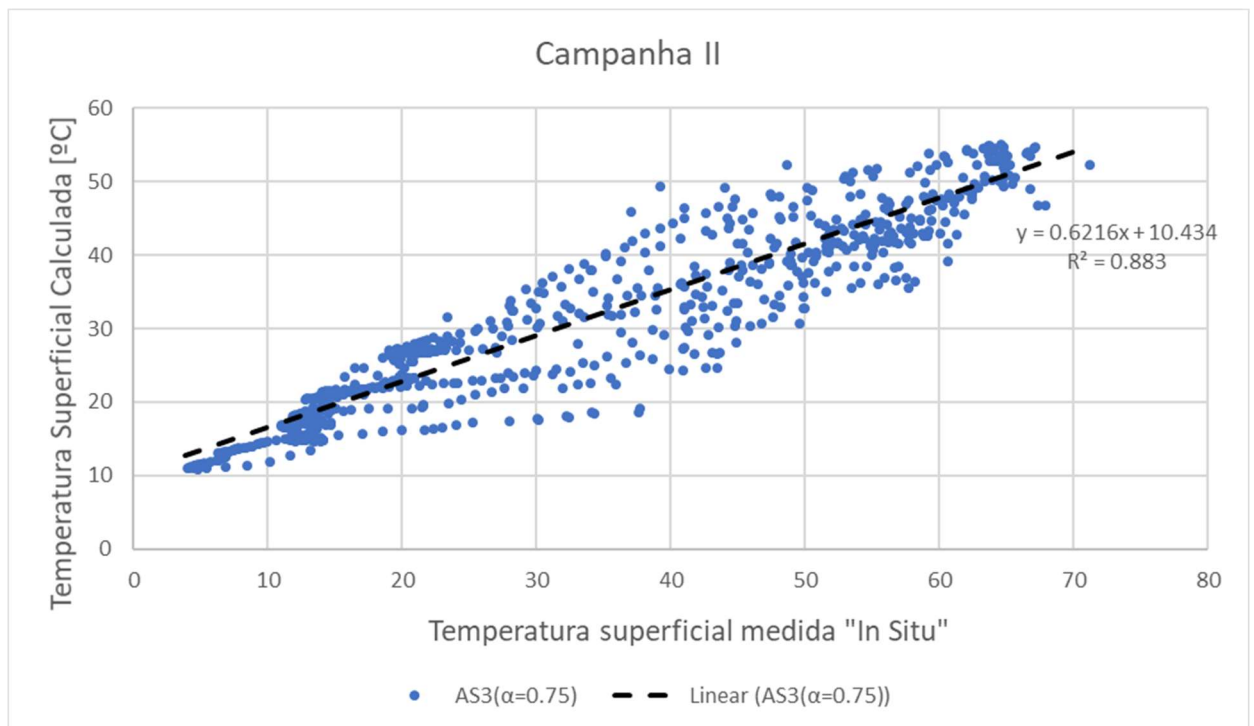


Figura 26 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (AS3)

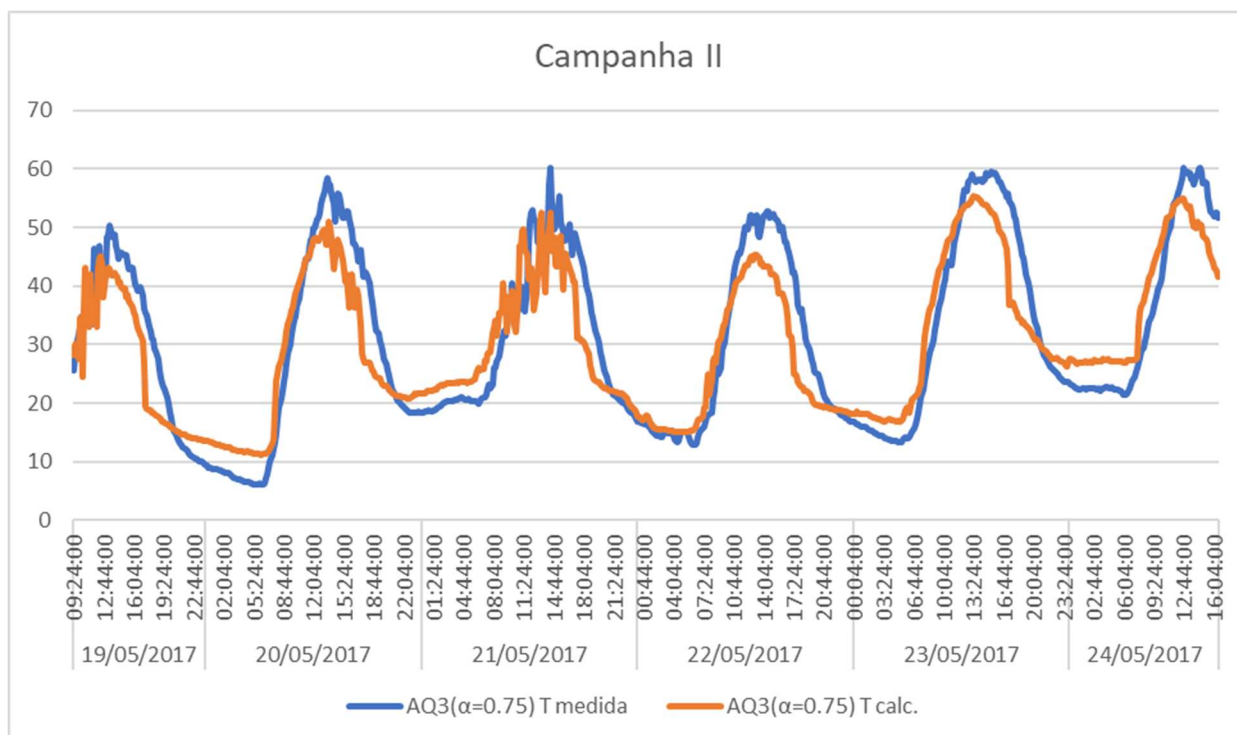


Figura 27 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (AQ3)

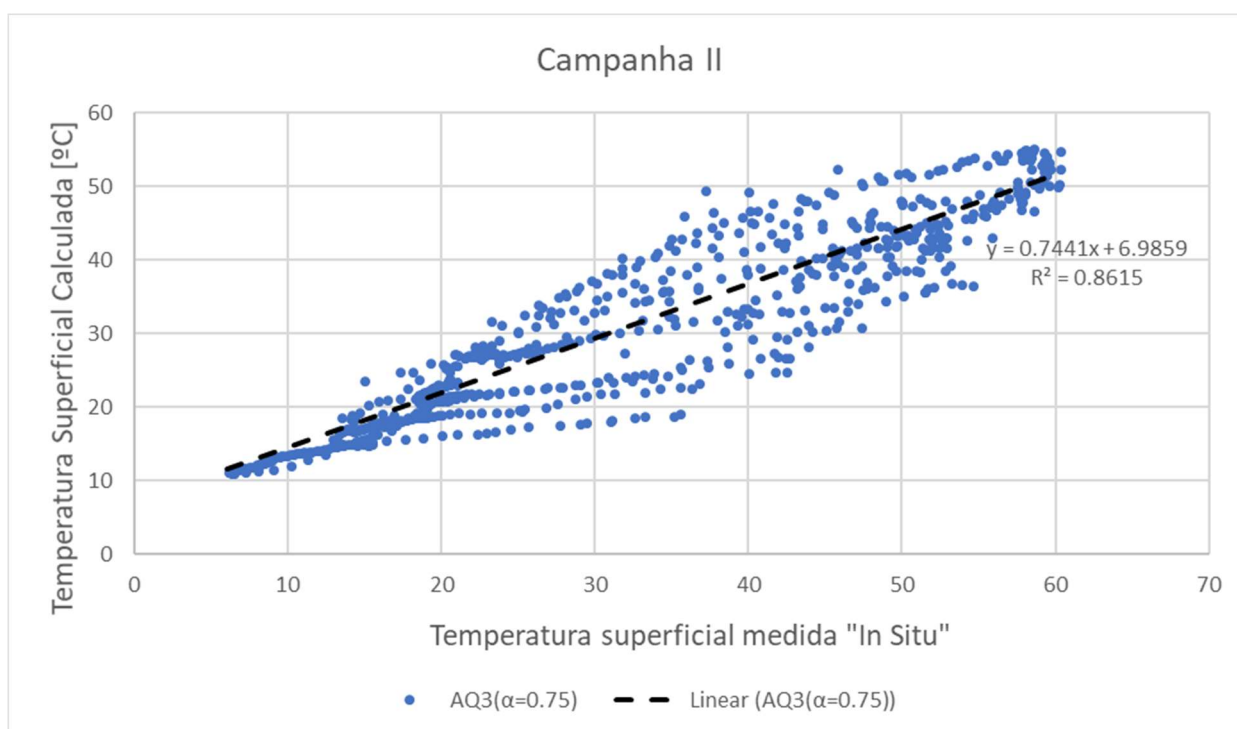


Figura 28 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (AQ3)

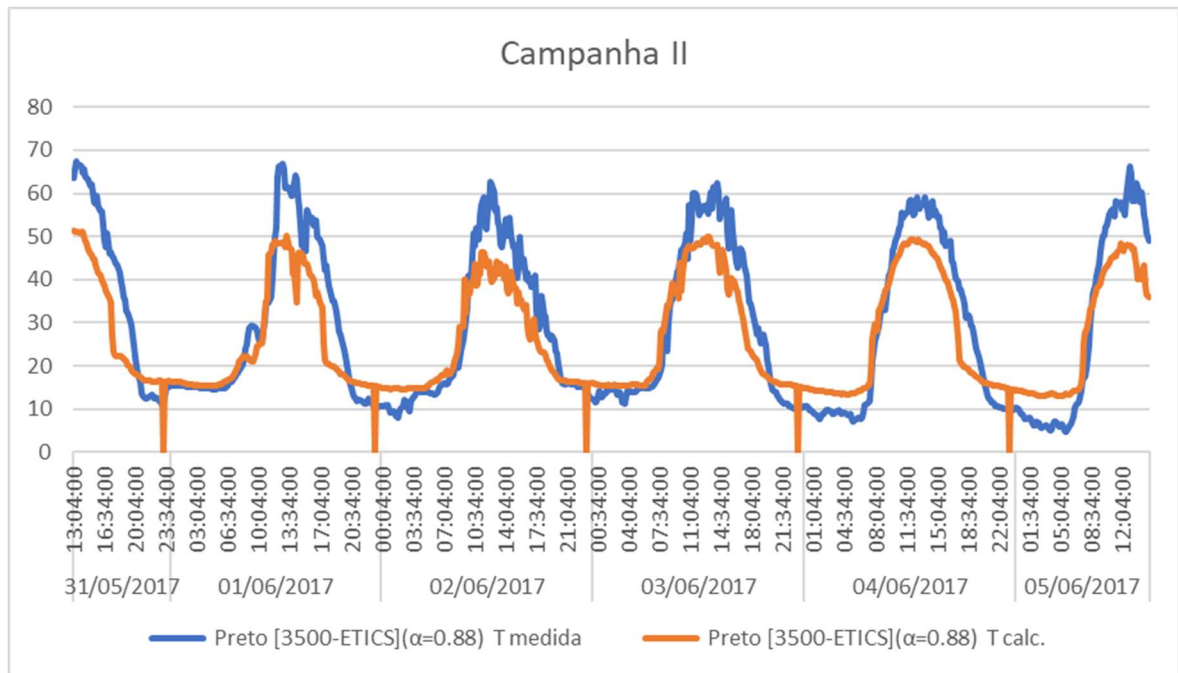


Figura 29 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Preto 3500-ETICS)

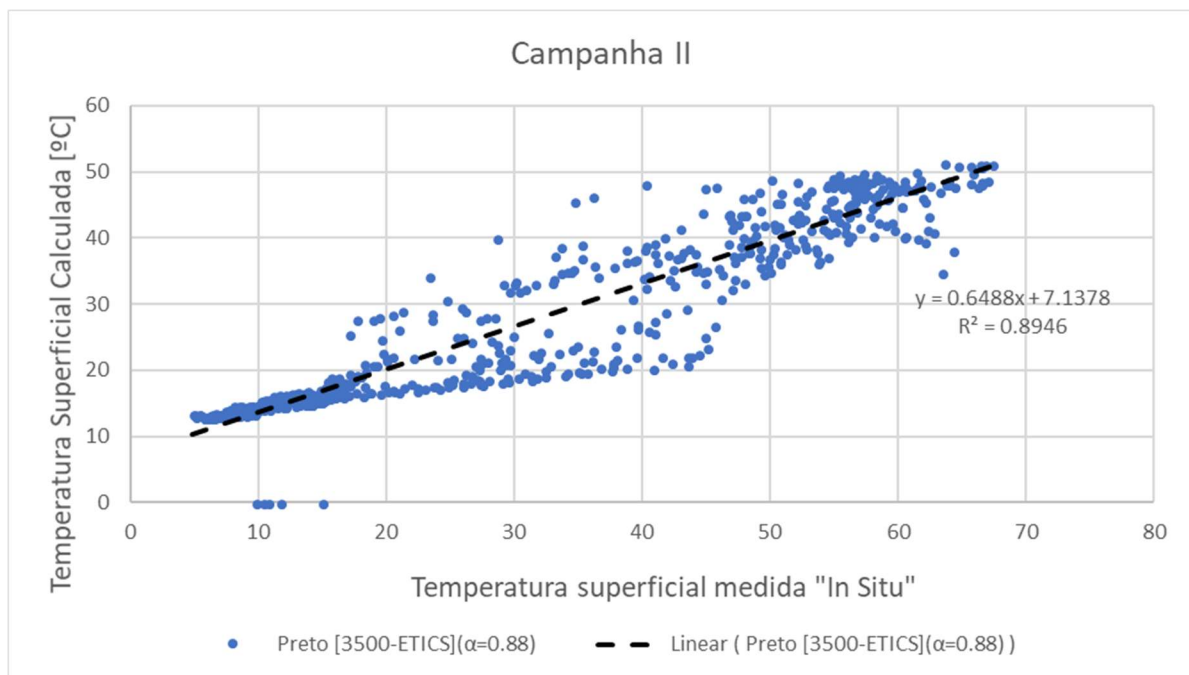


Figura 30 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Preto 3500-ETICS)

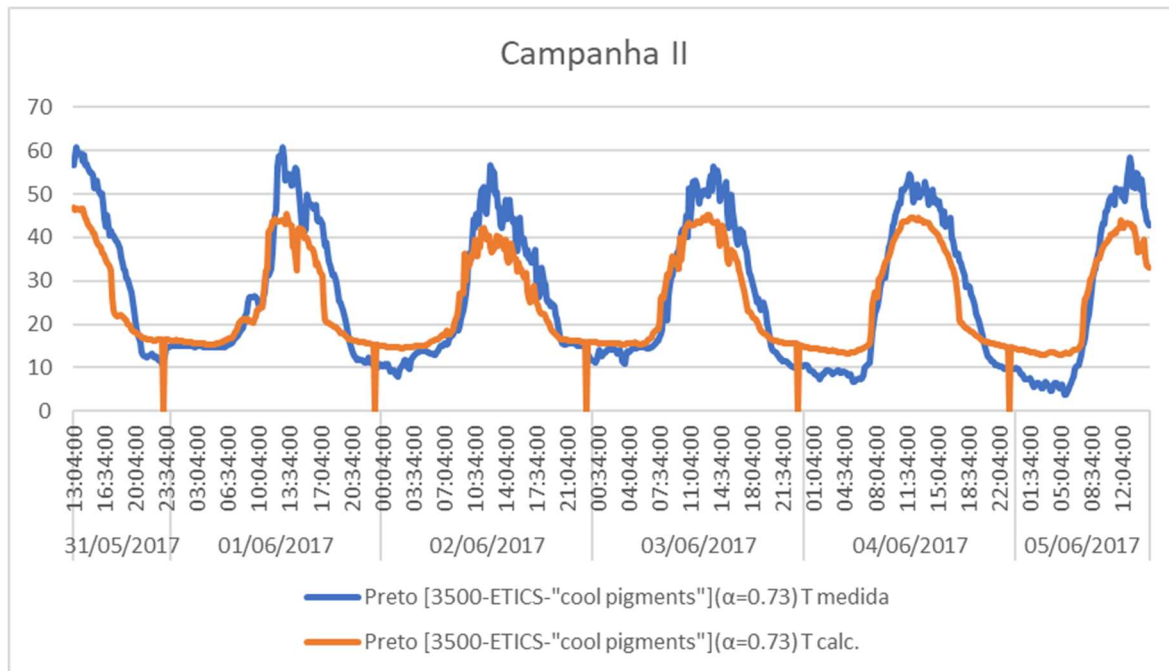


Figura 31 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Preto 3500-ETICS "cool pigments")

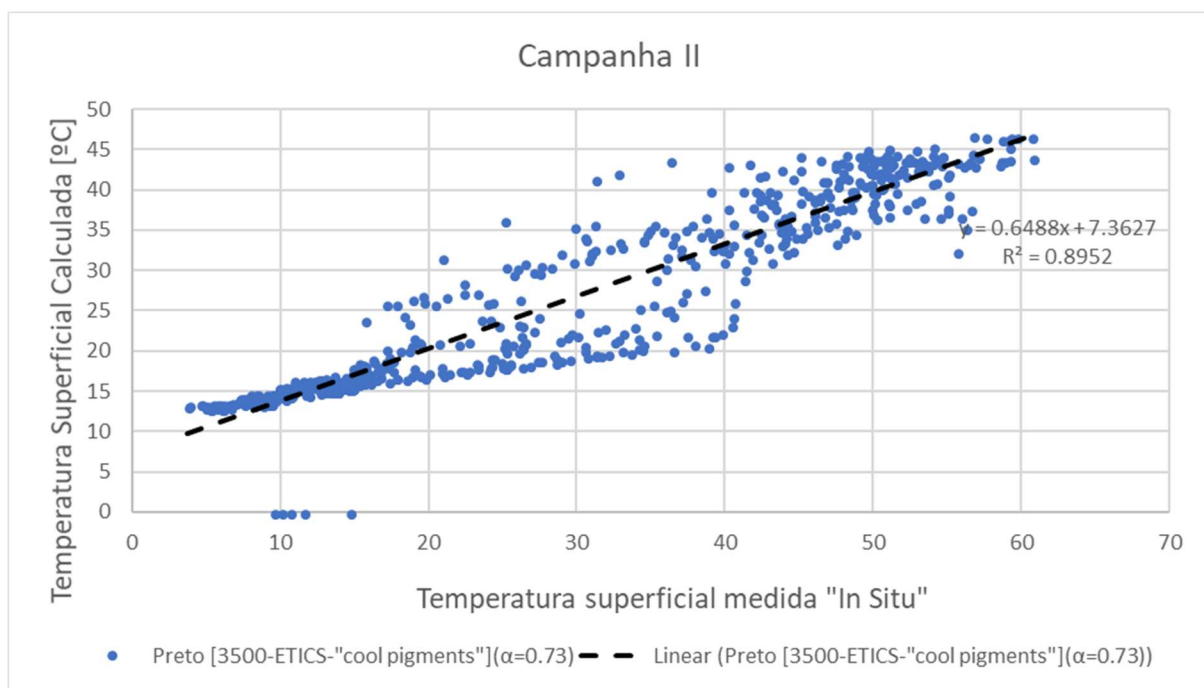


Figura 32 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Preto 3500-ETICS "cool pigments")

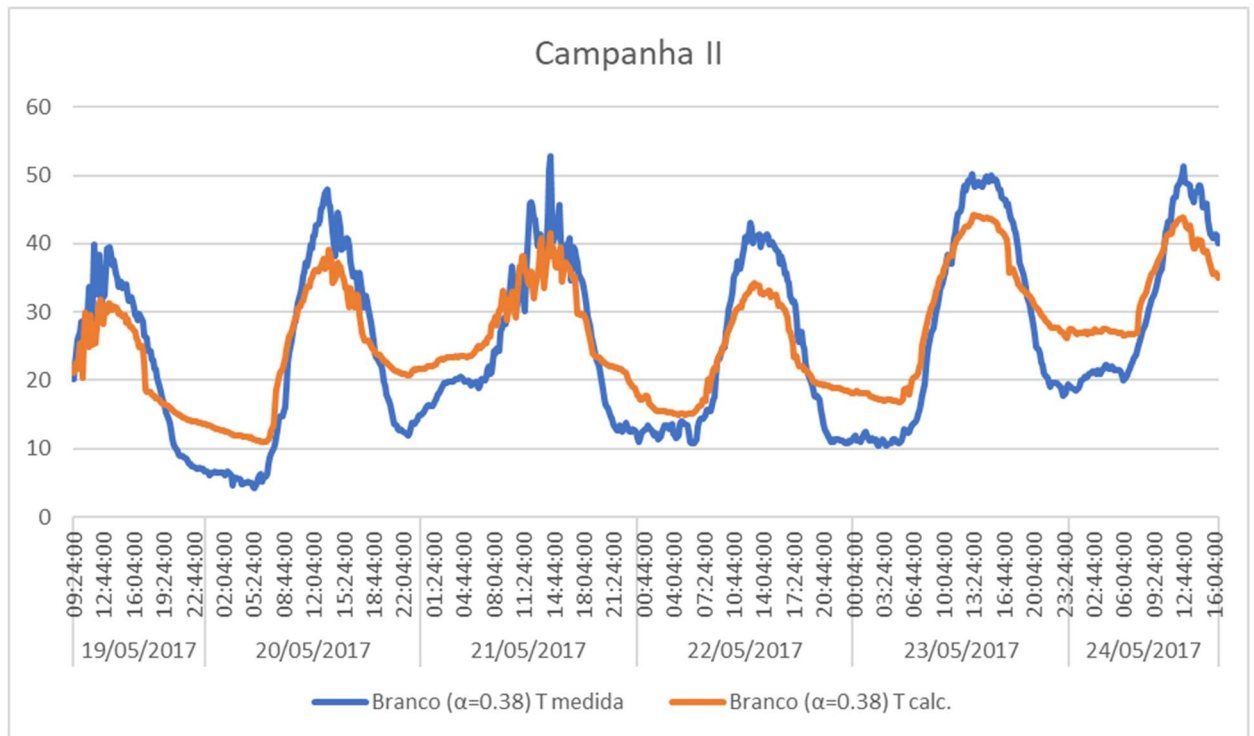


Figura 33 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Branco)

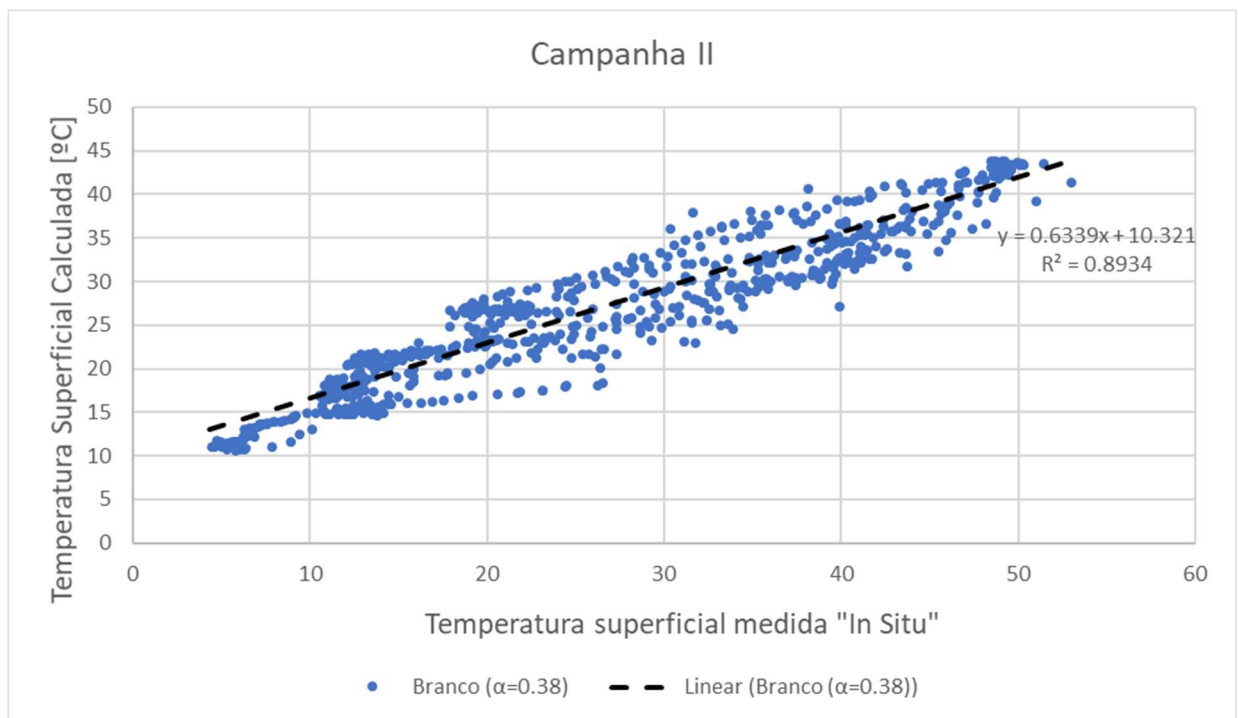


Figura 34 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Branco)

4.5.3. CAMPANHA III

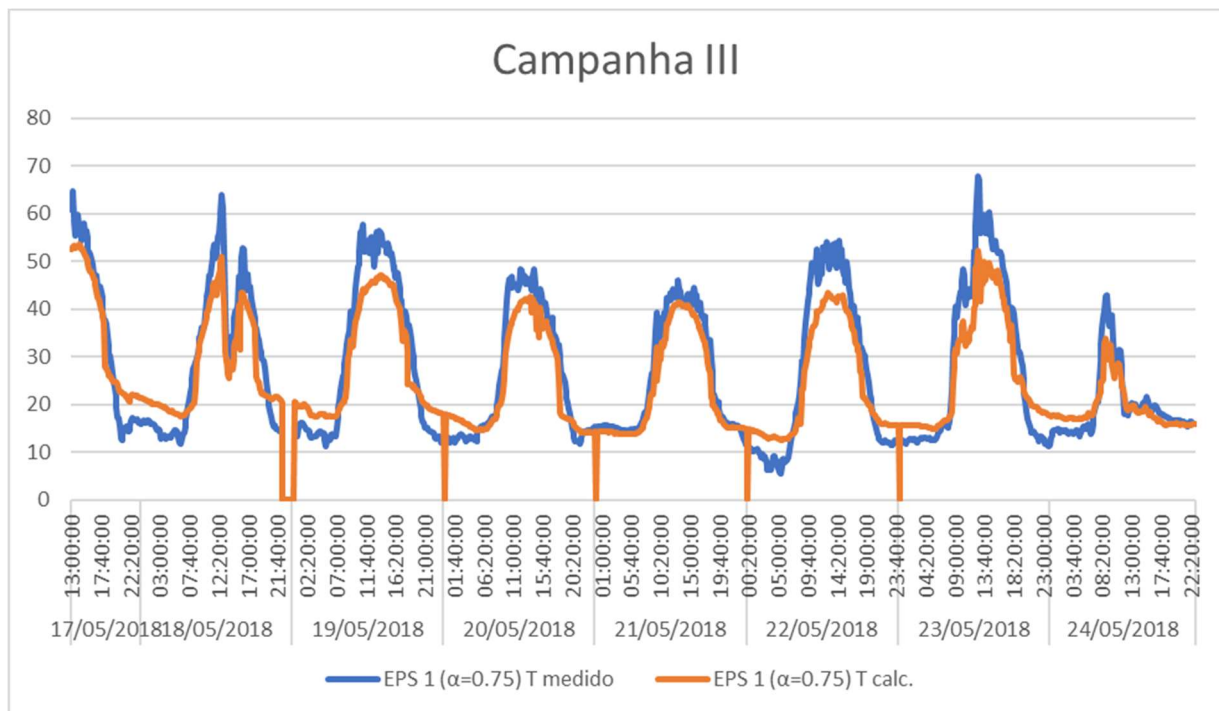


Figura 35 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS1)

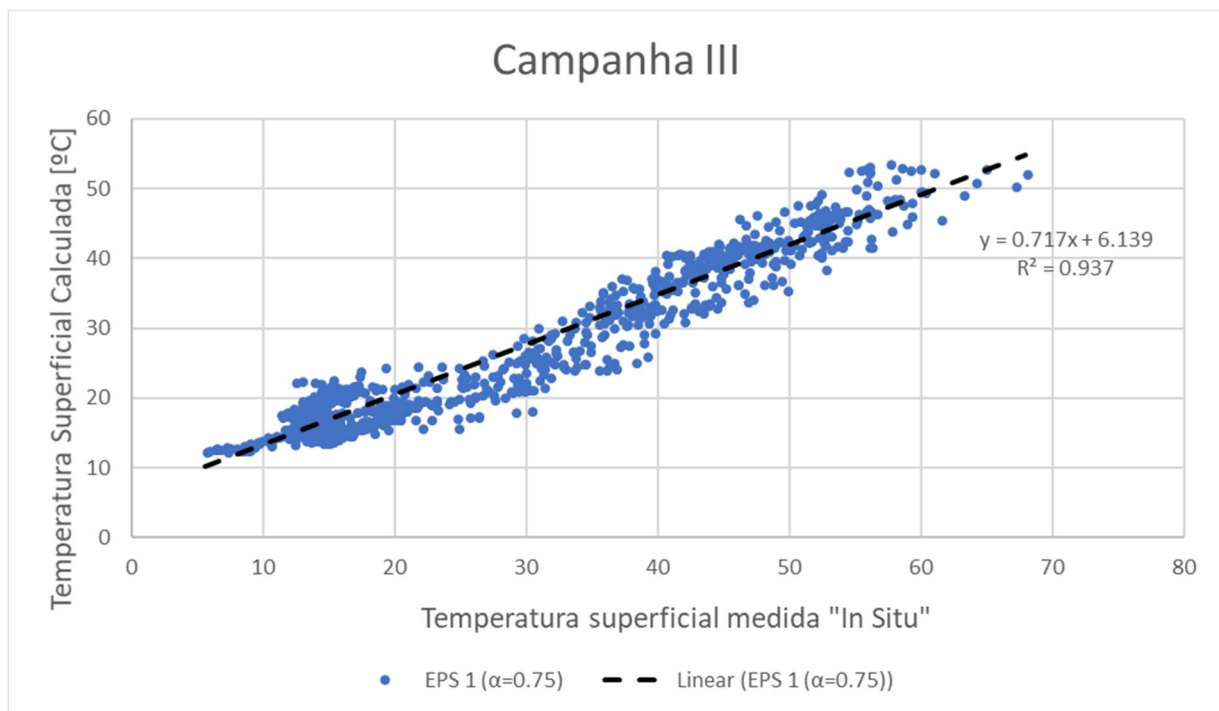


Figura 36 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS1)

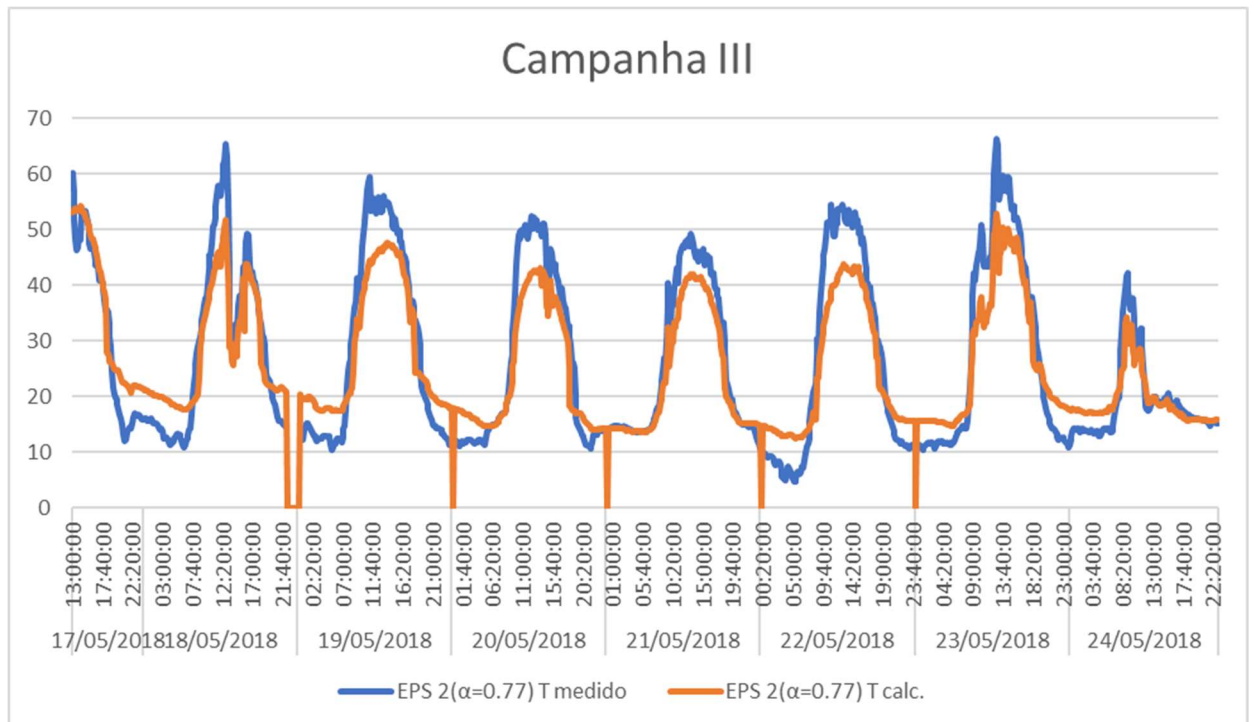


Figura 37 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS2)

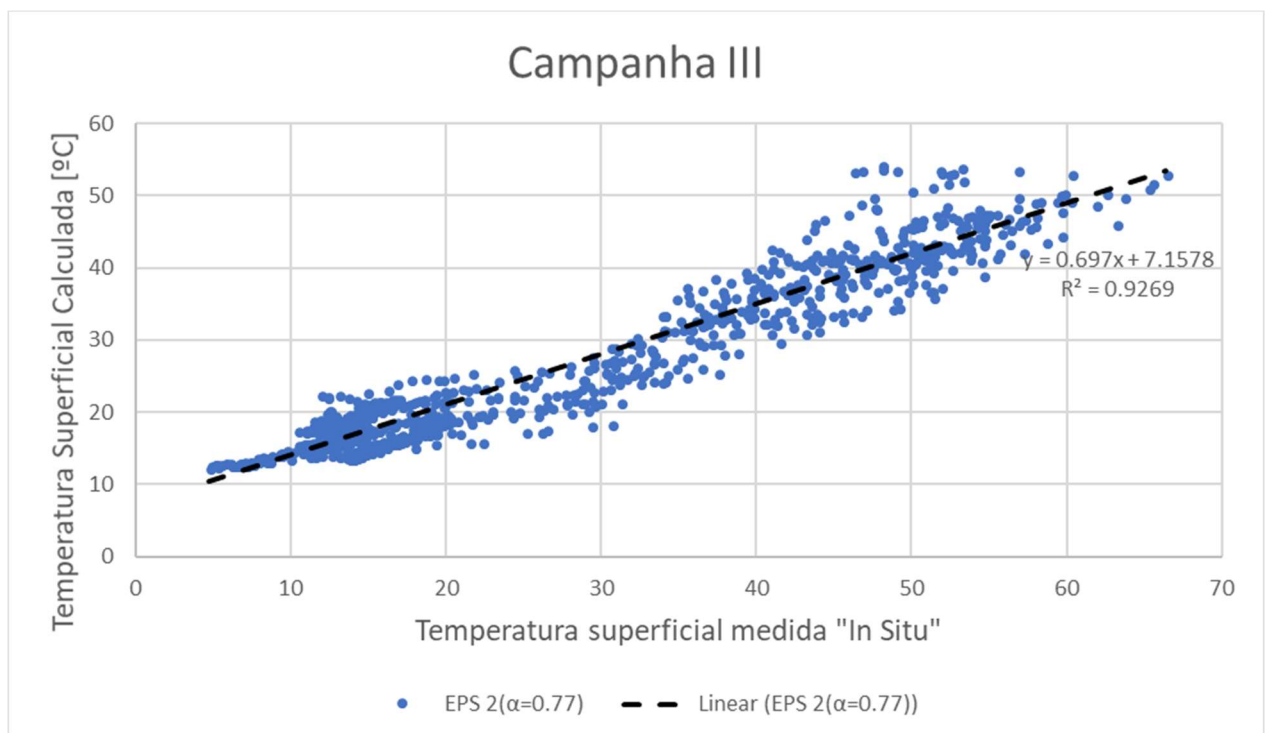


Figura 38 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS2)

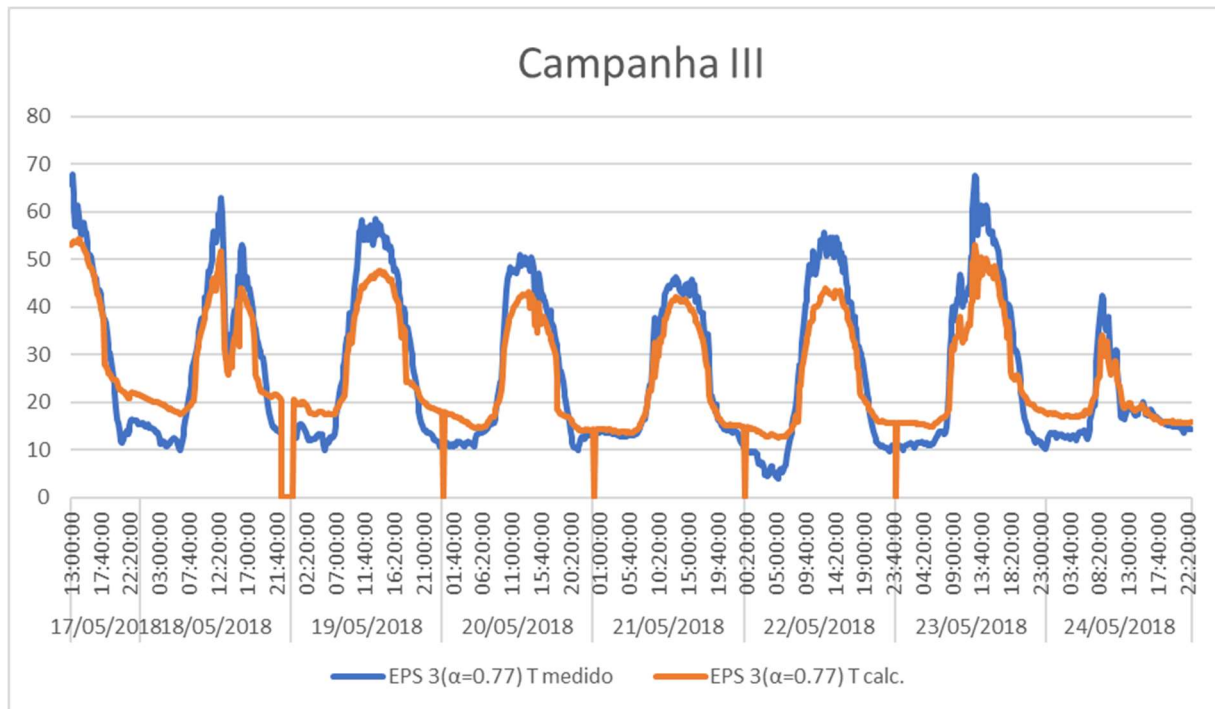


Figura 39 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS3)

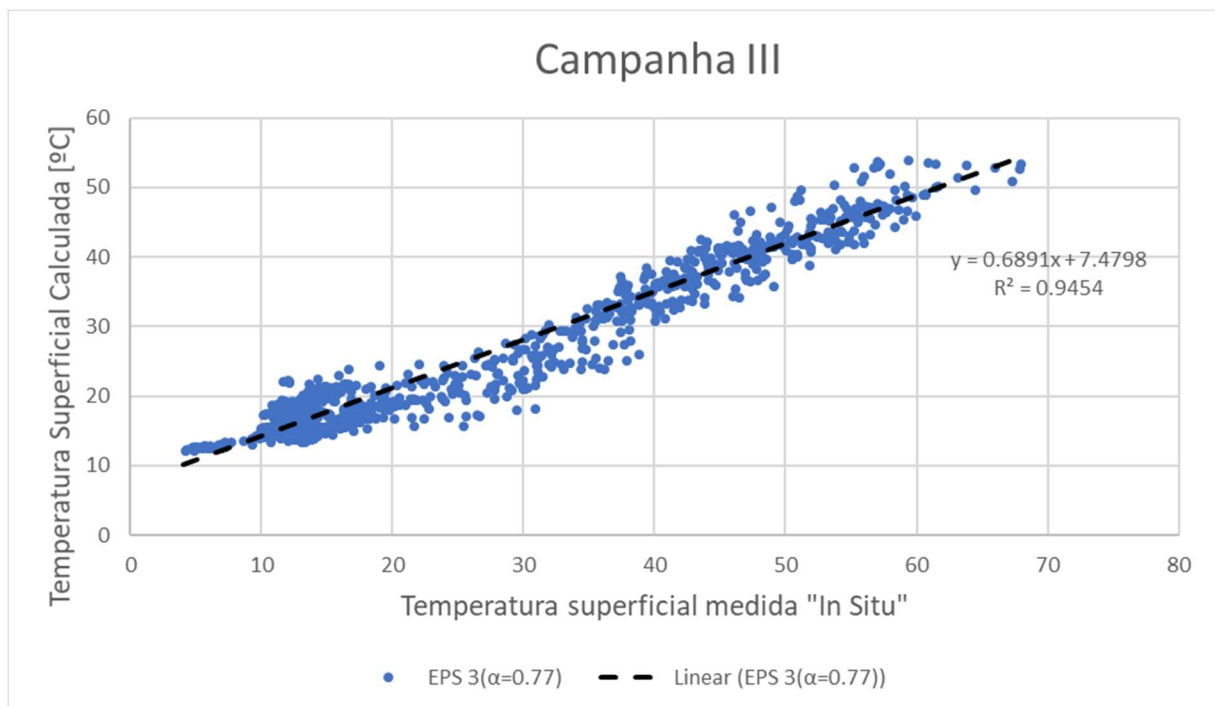


Figura 40 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS3)

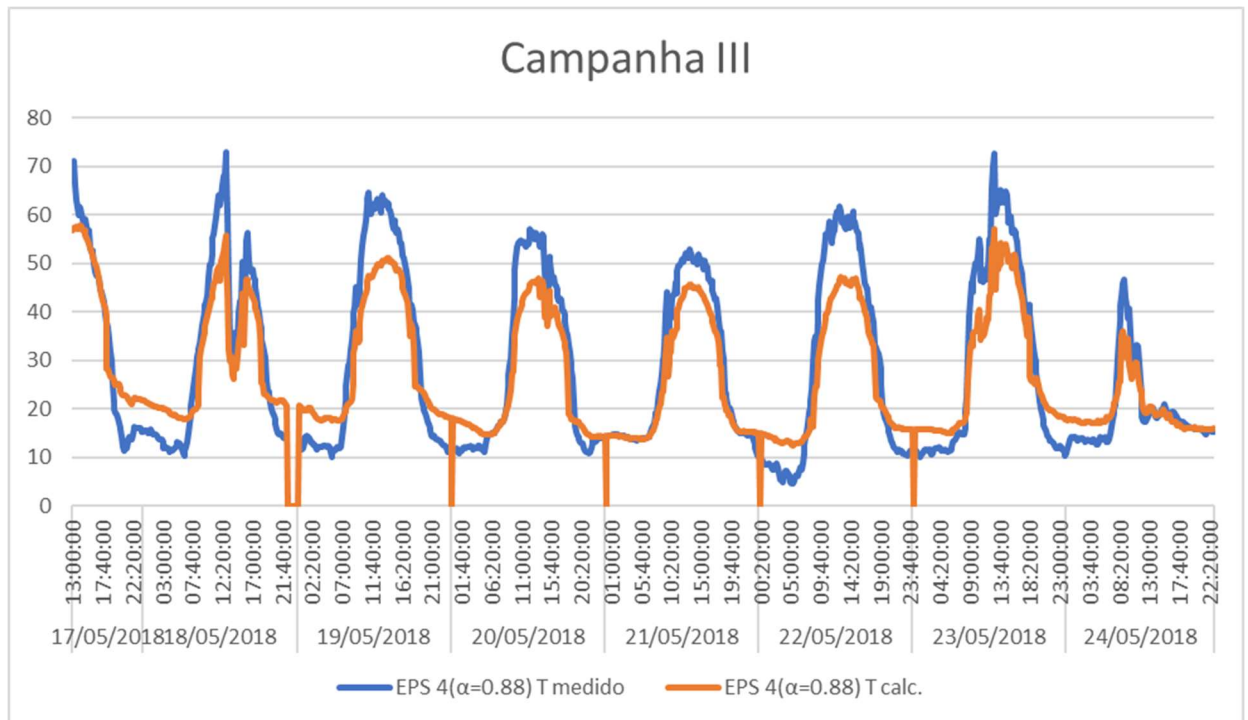


Figura 41 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS4)

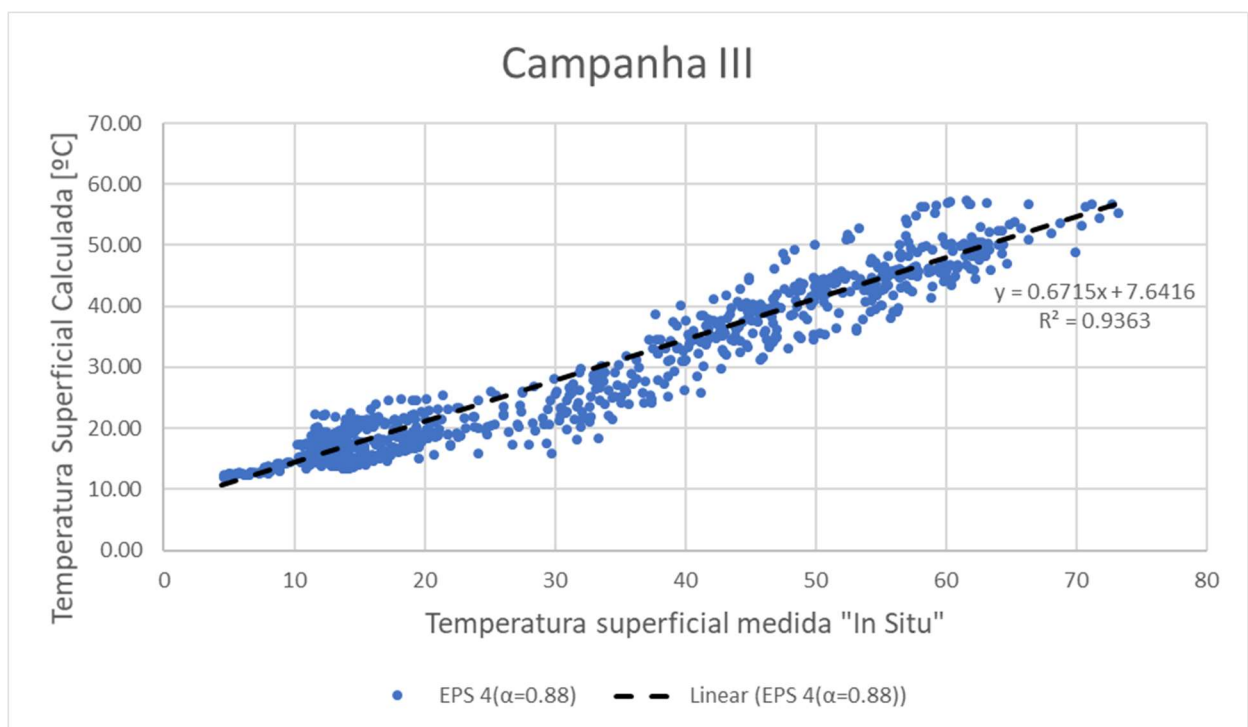


Figura 42 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS4)

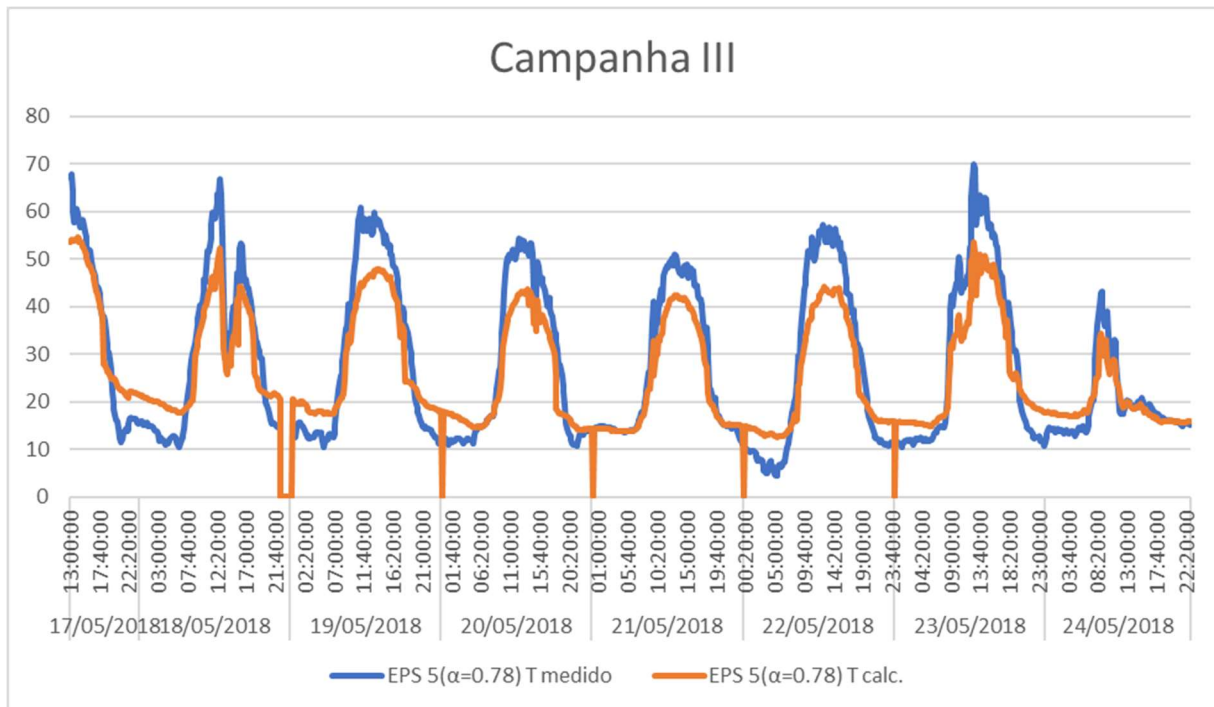


Figura 43 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS5)

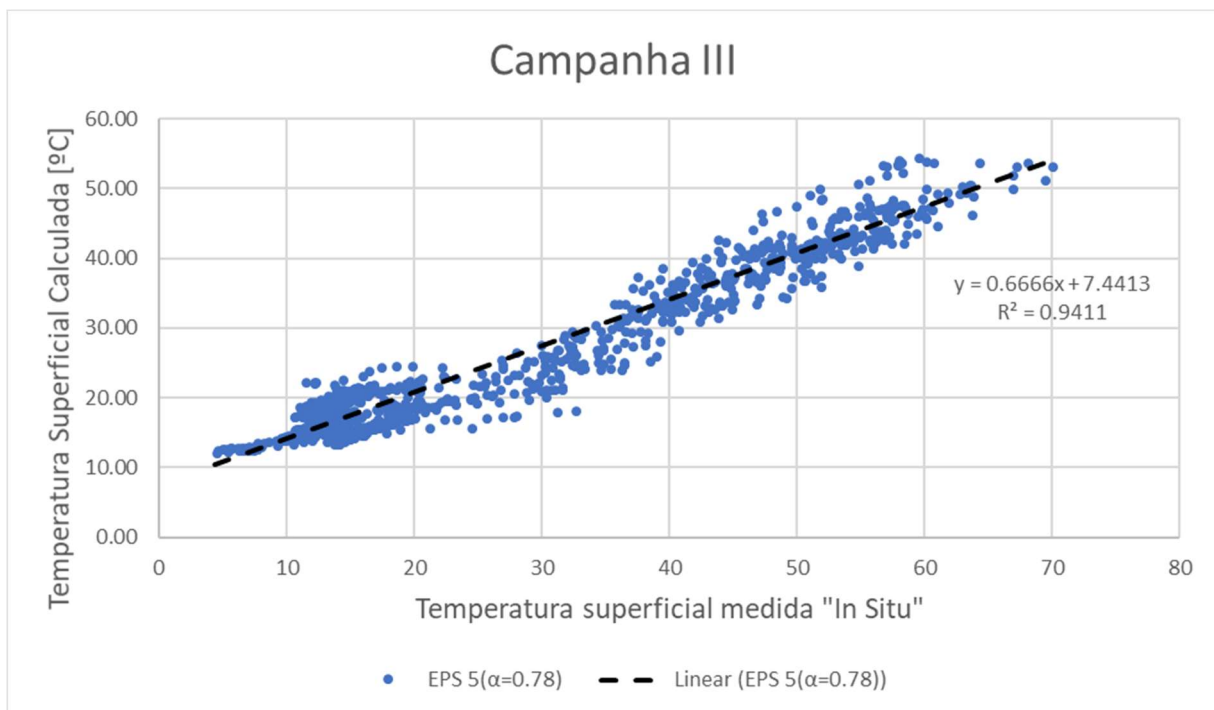


Figura 44 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS5)

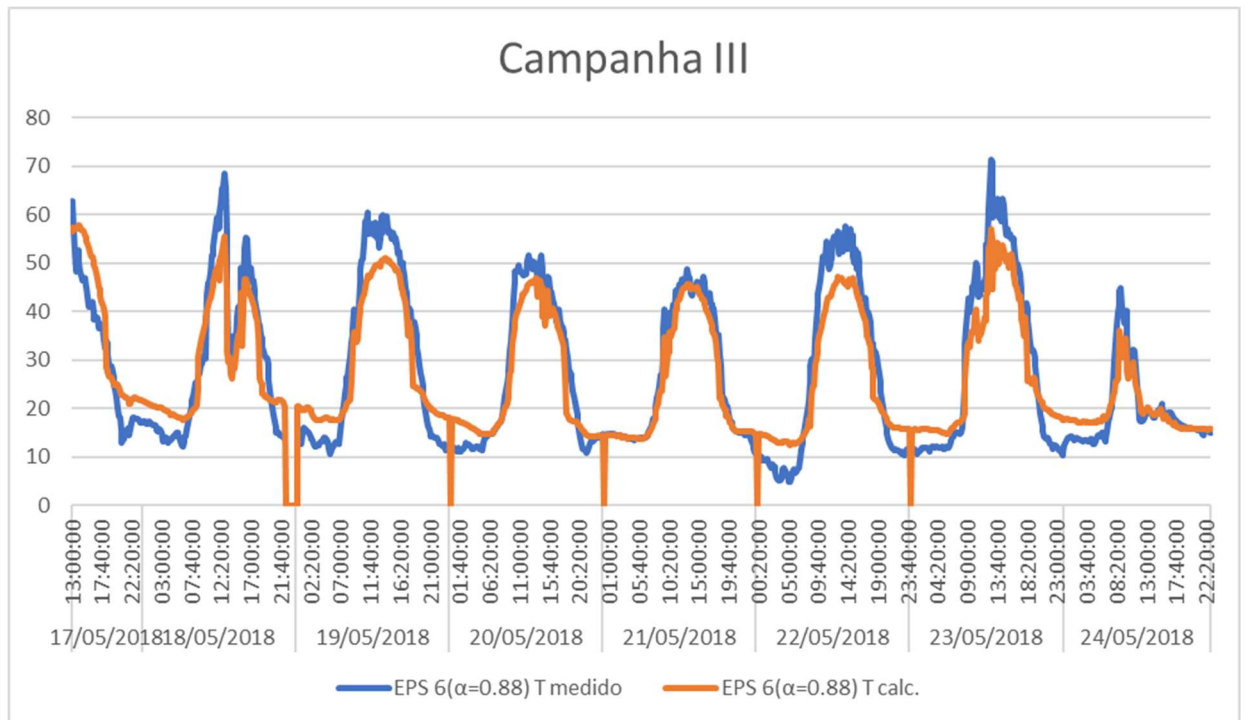


Figura 45 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS6)

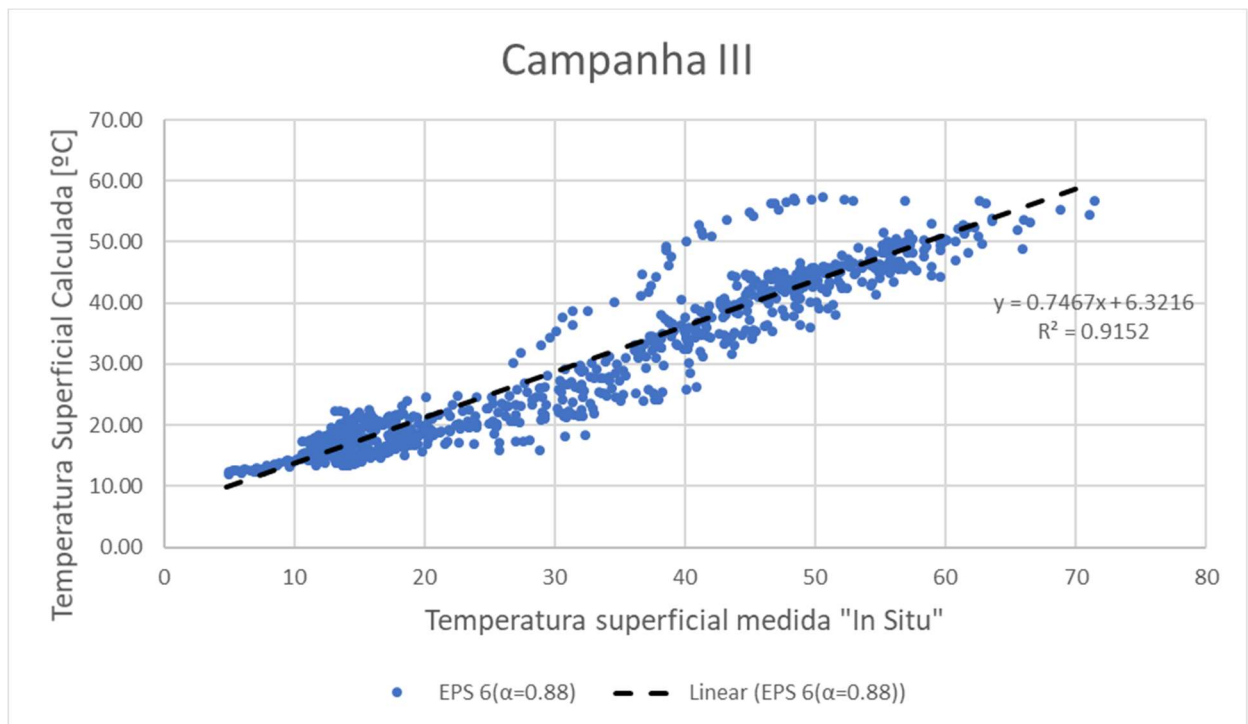


Figura 46 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS6)

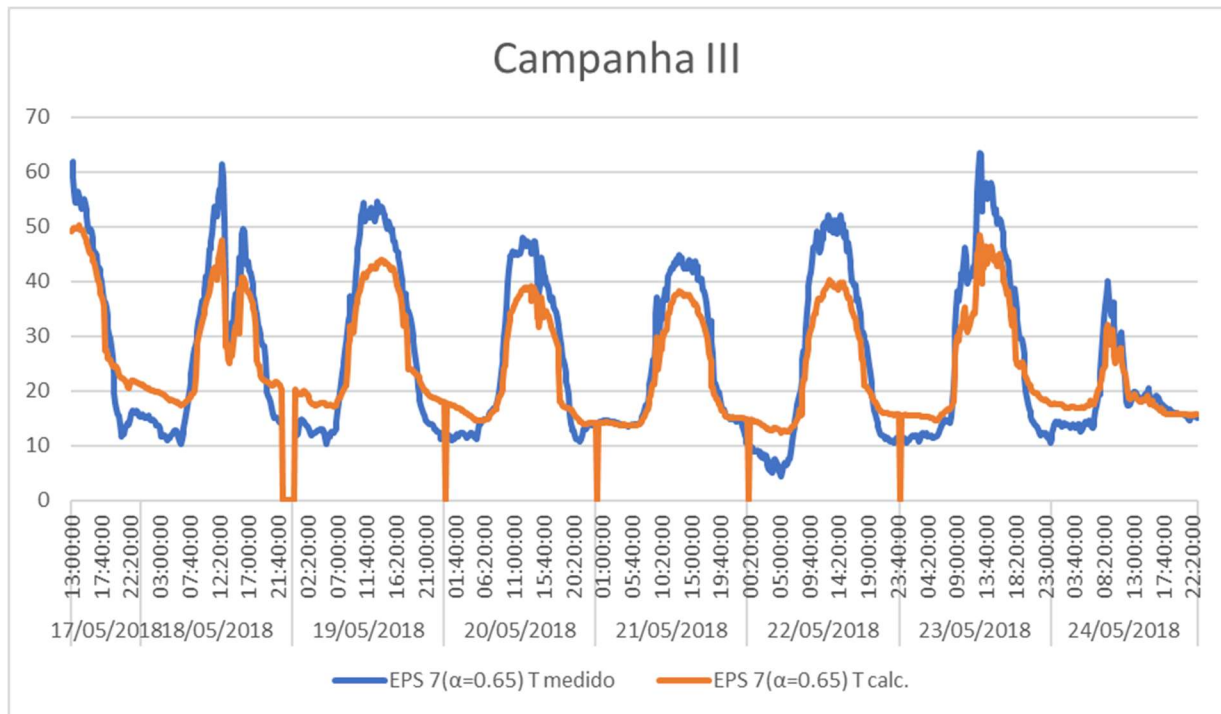


Figura 47 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (EPS7)

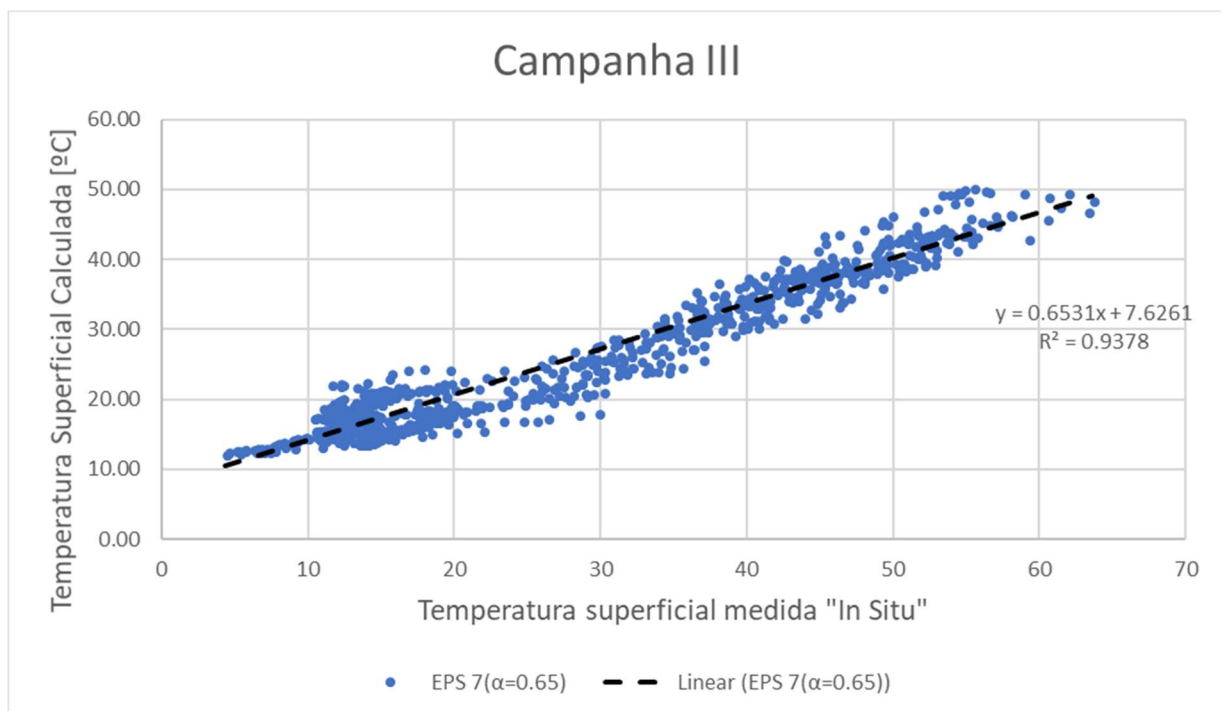


Figura 48 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (EPS7)

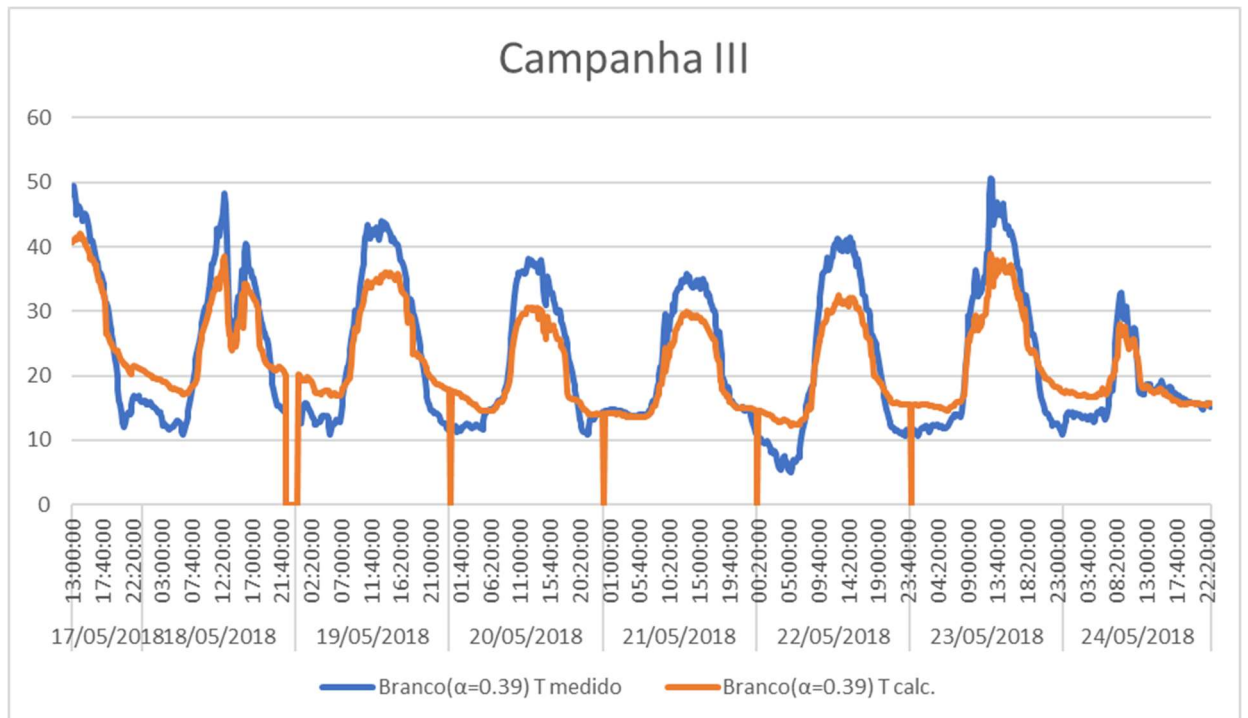


Figura 49 - Comportamento da temperatura superficial medida "In situ", comparativamente com a temperatura calculada (Branco)

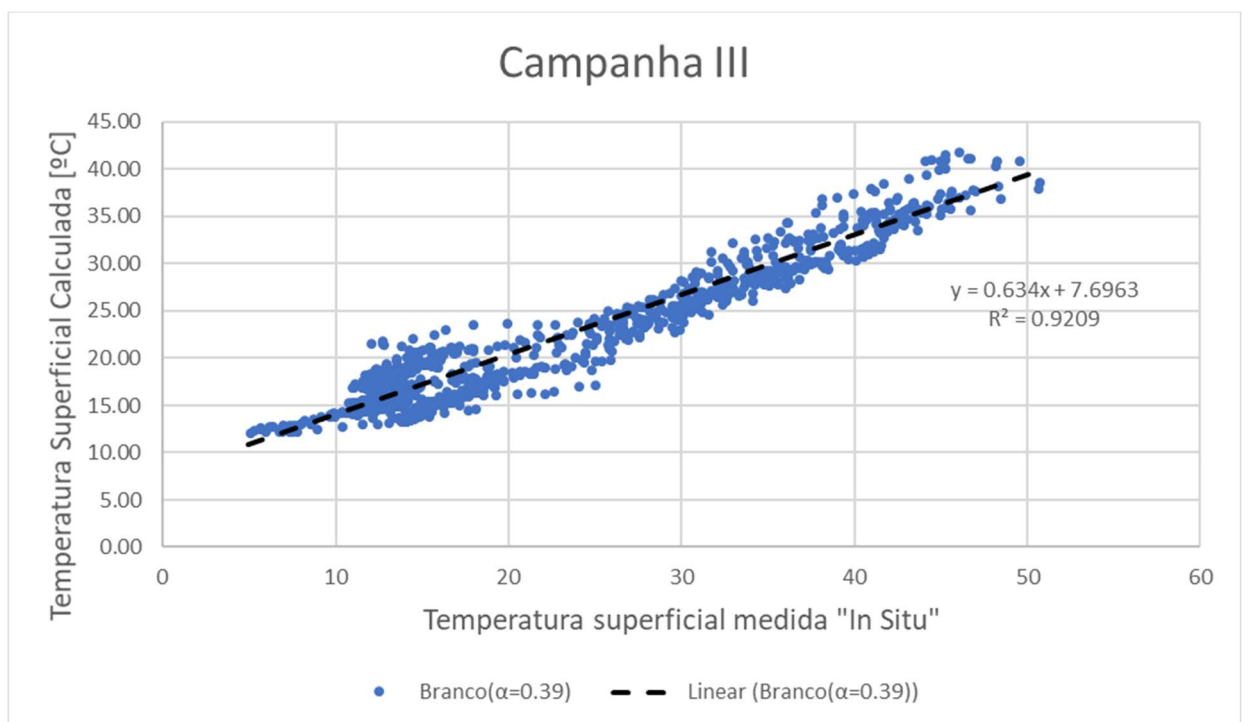


Figura 50 - Gráfico de dispersão da Temperatura medida "In Situ" vs Temperatura Calculada e respetiva correlação linear (Branco)