

APLICABILIDADE DE TERMOLAMINADOS DE ALTA PRESSÃO INOVADORES NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

MARIANA GOMES PINTO

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

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientadora: Dr.^a Joana Maia

Coorientadora: Dr.^a Cláudia Costa

JUNHO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais

“If you get tired, learn to rest, not to quit.”

Banksy

AGRADECIMENTOS

Terminada a última etapa do percurso académico, é momento de agradecer a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento e realização desta tese.

Em primeiro lugar quero agradecer à Surforma pelo desafio que me propôs e pela maneira que fui recebida por todos os elementos da empresa.

Um especial agradecimento à Dr.^a Cláudia Costa pela oportunidade concedida e por toda a orientação e apoio demonstrado. À Tânia Gonçalves pela infindável paciência e passagem de conhecimento durante todo este período.

À Dr. Joana Maia pela valiosa colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Professor Nuno Ramos, orientador da faculdade, por toda a ajuda, pelo direcionamento fundamental na elaboração da dissertação e pela disponibilidade e acompanhamento constante.

Quero agradecer a todos os professores da FEUP que contribuíram para o meu crescimento e desenvolvimento ao longo destes anos. A todos os meus amigos, principalmente à Mafalda, por toda a amizade e incentivo para realizar este projeto.

Por fim, mas não menos importante, quero agradecer à minha família, principalmente aos meus pais, à minha irmã e ao João pelo amor, carinho, dedicação e por contribuírem diariamente para que a minha vida seja repleta de felicidade e sucesso.

RESUMO

Ao longo dos anos, a indústria da construção tem vindo a preocupar-se cada vez mais com a qualidade dos produtos. O desenvolvimento tecnológico permite dar resposta a problemas mais exigentes, uma vez que as empresas começaram a adotar novas estratégias com potencial para aumentar a eficiência dos edifícios. O setor da construção procura introduzir materiais inovadores e equipamentos com a capacidade de melhorar o desempenho dos produtos em termos de durabilidade e sustentabilidade. Contudo, a incorporação de novas soluções exige a realização de estudos que comprovem a fiabilidade das conclusões.

Para acompanhar as necessidades do setor, o presente trabalho tem como principal objetivo avaliar o potencial dos HPL - termolaminados de alta pressão -, para serem aplicados em fachadas de edifícios. Este material distingue-se pela elevada resistência mecânica, impermeabilidade e diferentes aplicabilidades. Normalmente, os HPL são aplicados no interior dos edifícios, contudo a versatilidade de texturas e padrões, conferem-lhe importância para ampliar o seu uso ao exterior dos edifícios.

Neste trabalho avaliou-se a possibilidade dos HPL apresentarem propriedades óticas da superfície melhorada, através da presença de nanomateriais na sua constituição. Estes materiais, embora possam provocar um acréscimo do custo inicial das soluções, possibilitam a melhoria das características dos materiais aplicados no setor da construção. As suas propriedades óticas são capazes de aumentar o conforto térmico dos edifícios e consequentemente, tornar os edifícios sustentáveis, mais eficientes e com maior durabilidade. Para tal, foram desenvolvidos diversos ensaios com vista a comprovar ou refutar a tese formulada, face à capacidade dos termolaminados de alta pressão com nanopartículas na sua composição, desenvolverem competências de revestimento de fachadas de edifícios.

Os três tópicos principais deste trabalho foram descritos na revisão do estado de arte. Primeiramente, foi feita uma análise sobre os termolaminados de alta pressão (HPL), de forma a conhecer melhor o material e quais as principais características que permitem a sua aplicação no exterior. Em segundo lugar, analisou-se as propriedades superficiais (refletância, cor e emissividade) de forma a perceber qual a relação das mesmas com o comportamento dos materiais ao nível da durabilidade. Por fim, fez-se referência às nanopartículas com o intuito de analisar as suas vantagens quando aplicadas no setor da construção.

A metodologia experimental deste trabalho dividiu-se em três fases distintas. A primeira fase baseou-se na produção de três amostras, sendo a primeira de referência e as restantes duas com dois tipos distintos de nanopartículas. As nanopartículas escolhidas foram o dióxido de titânio (TiO_2) e o dióxido de silício (SiO_2). Na segunda fase, realizou-se os ensaios de qualidade e de envelhecimento, presentes na norma EN 438, para analisar a possibilidade da aplicação dos HPL na fachada do edifício. Por último, na terceira fase, tornou-se importante avaliar algumas propriedades superficiais relacionadas com o comportamento térmico da envolvente dos edifícios. A necessidade de saber a variação das propriedades superficiais como a refletância solar, cor e emissividade, após os ensaios de envelhecimento, motivou o desenvolvimento desta fase experimental deste trabalho, uma vez que estes três fatores são muito importantes para aumentar a durabilidade dos sistemas de fachada.

Assim, é possível verificar que neste estudo, antes dos ensaios de envelhecimento a presença de nanopartículas aumenta a refletância dos HPL, mas, no entanto, a cor das amostras modifica de forma significativa. Depois dos ensaios a refletância volta a aumentar uma vez que a tonalidades das amostras se tornou mais esbranquiçada, quando comparada à fase inicial (antes dos ensaios). Relativamente à emissividade percebe-se que esta não sofre alterações significativas no decorrer dos ensaios.

Palavras-Chave: HPL, Norma EN 438, Nanopartículas, Propriedades superficiais, Durabilidade.

ABSTRACT

Over the years, the construction industry has become increasingly concerned with product quality. Technological development allows for more demanding problems, as companies have begun to adopt new strategies with the potential to increase the efficiency of buildings. The construction sector seeks to introduce innovative materials and equipment with the ability to improve product performance in terms of durability and sustainability. However, the incorporation of new solutions requires studies to prove the reliability of the conclusions.

To keep up with the industry's needs, the present work has the main goal of evaluating the potential of HPL - high-pressure thermolaminates - to be applied on building facades. This material is distinguished by its high mechanical strength, impermeability, and different applicability. Normally, HPL is applied inside buildings, but the versatility of textures and patterns makes it important to extend its use to the exterior of buildings.

This work evaluated the possibility of HPL presenting improved optical properties of the surface, through the presence of nanomaterials in its constitution. These materials, although they may cause an increase in the initial cost of the solutions, make it possible to improve the characteristics of the materials applied in the construction sector. Their optical properties can increase the thermal comfort of buildings and, consequently, make buildings sustainable, more efficient, and more durable. To this end, several tests were developed to prove or disprove the thesis formulated, given the ability of high-pressure thermolaminates with nanoparticles in its composition, to develop coating competences for building facades.

In the state-of-the-art review, the three main topics of this work were studied. Firstly, high pressure thermolaminates (HPL) are described, to better understand the material and the main characteristics that allow its application outdoors. Secondly, the surface properties (reflectance, color, and emissivity) were analyzed to understand their relationship with the behavior of the materials in terms of durability. Finally, reference was made to nanoparticles to analyze their advantages when applied in the construction sector.

The experimental methodology of this work was divided into three distinct phases. The first phase was based on the production of three samples, the first reference and the remaining two with two different types of nanoparticles. The nanoparticles chosen were titanium dioxide (TiO_2) and silicon dioxide (SiO_2). In the second phase the quality and aging tests present in the EN 438 standard were carried out to analyze the possibility or not of applying these materials on the building's façade. Finally, in the third phase, it became important to evaluate some properties related to the thermal behavior of the building envelope. The need to know the variation of surface properties such as solar reflectance, color, and emissivity, after the aging tests, motivated the development of this experimental phase of this work, since these three factors are very important to increase the durability of the façade systems.

Thus, in this study, before the aging trials the presence of nanoparticles increases the reflectance of the HPLs, but nevertheless the color of the product changes significantly. After the tests the reflectance increases again since the shade of the samples became much whiter when compared to the initial phase (before the tests). The emissivity does not change significantly during the tests.

Keywords: HPL, EN 438 Standard, Nanoparticles, Surface properties, Durability

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2 ESTADO DE ARTE E FUNDAMENTOS	5
2.1. TERMOLAMINADOS DE ALTA PRESSÃO	5
2.2. COMPACTO.....	7
2.2.1. DEFINIÇÃO.....	7
2.2.2. CONSTITUIÇÃO.....	7
2.3. CLASSIFICAÇÃO E ESPECIFICAÇÕES DE HPL: EN 438.....	8
2.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO	10
2.5. APLICABILIDADE DE COMPACTOS HPL NA CONSTRUÇÃO.....	13
2.6. ABSORÇÃO SOLAR.....	18
2.6.1. RADIAÇÃO SOLAR	18
2.6.2. REFLETÂNCIA DE SUPERFÍCIES OPACAS	19
2.6.3. INFLUÊNCIA DA COR	20
2.7. NANOTECNOLOGIA E NANOMATERIAIS.....	21
2.7.1. DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES.....	21
2.7.2. APLICAÇÃO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO	22
3 METODOLOGIA	25
3.1. MATERIAIS.....	25
3.2. PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS	26
3.3. ENSAIOS REALIZADOS.....	29
3.3.1. ENQUADRAMENTO	29
3.3.2 PROPRIEDADES SUPERFICIAIS: MÉTODOS DE MEDIÇÃO	32

3.3.3. ENSAIOS DE QUALIDADE	37
3.3.4. ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1. ENQUADRAMENTO	49
4.2. PROPRIEDADES SUPERFICIAIS.....	50
4.2.1. REFLETÂNCIA SOLAR.....	50
4.2.2. COR	51
4.2.3. EMISSIVIDADE	52
4.3. ENSAIOS DE QUALIDADE	53
4.3.1. RESISTÊNCIA À ABRASÃO.....	53
4.3.2 RESISTÊNCIA À IMERSÃO EM ÁGUA EM EBULIÇÃO	54
4.3.3 RESISTÊNCIA AO VAPOR DE ÁGUA.....	58
4.3.4. RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE UMA BOLA DE GRANDE DIÂMETRO	58
4.3.5 RESISTÊNCIA AO RISCO.....	58
4.3.6. RESISTÊNCIA À HUMIDADE	59
4.4. ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO	62
4.4.1. RESISTÊNCIA À LUZ UV	62
4.4.2. RESISTÊNCIA À INTEMPÉRIE ARTIFICIAL	65
4.4.3. RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO	69
4.5. COMPORTAMENTO GLOBAL DOS COMPACTOS.....	72
5 CONCLUSÕES	79
5.1. CONCLUSÕES FINAIS.....	79
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Amostras HPL Surforma	5
Figura 2- Processamento HPL	6
Figura 3- Diferença de um laminado e compacto	7
Figura 4- Exigências de Desempenho	11
Figura 5- Funcionamento do Sistema de Fachada Ventilada [28]	17
Figura 6- Espectro Eletromagnético e Espectro Solar [31]	18
Figura 7- Espectro solar [32]	19
Figura 8- Tipos de papel utilizados	26
Figura 9- Linha de Spray Surforma	27
Figura 10- Processo de montagem compacto	28
Figura 11- Prensa de Laboratório Surforma	29
Figura 12- Compacto cortado após saída da prensa	29
Figura 13- Metodologia Experimental	30
Figura 14- Espectrofotômetro Flame e Espectrofotômetro Flame-NIR	33
Figura 15- Instalação Experimental: Refletância Solar	33
Figura 16- Instalação Experimental: Emissividade	36
Figura 17- Abrasímetro	37
Figura 18- Equipamentos: Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição	38
Figura 19- Equipamento: Ensaio da resistência ao vapor de água	39
Figura 20- Equipamentos: Ensaio da resistência ao impacto de uma bola de grande diâmetro	40
Figura 21-Equipamento: Ensaio da resistência ao risco	41
Figura 22- Câmara Climática: Ensaio da resistência à humidade	42
Figura 23- Recipiente com água: Ensaio da resistência à humidade	42
Figura 24- Câmara Climática fechada: Ensaio da resistência à luz UV	43
Figura 25- Câmara Climática aberta: Ensaio da resistência à luz UV	44
Figura 26- Câmara climática: Ensaio da resistência à intempérie artificial	45
Figura 27- Câmara climática: Ensaio da resistência ao choque térmico	47
Figura 28- Equipamento Resistência à Flexão	47
Figura 29- Amostra TiO ₂	49
Figura 30- Amostra SiO ₂	50
Figura 31-Valores de refletância antes dos ensaios de envelhecimento	51

Figura 32- Variação da cor nas amostras com TiO ₂ e SiO ₂	52
Figura 33- Valores da emissividade antes dos ensaios de envelhecimento	53
Figura 34- Resultado amostra de referência : Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição.....	57
Figura 35- Resultado amostra TiO ₂ : Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição	57
Figura 36- Resultado amostra SiO ₂ : Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição	57
Figura 37- Resultados: Ensaio da resistência ao vapor de água	58
Figura 38- Resultado amostra REF: Ensaio da resistência à humidade	60
Figura 39- Resultado amostra TiO ₂ : Ensaio da resistência à humidade.....	61
Figura 40- Resultado amostra SiO ₂ : Ensaio da resistência à humidade	61
Figura 41- Resultado amostra REF: Ensaio da resistência à luz UV	62
Figura 42- Resultado amostra TiO ₂ : Ensaio da resistência à luz UV.....	63
Figura 43- Resultado amostra SiO ₂ : Ensaio da resistência à luz UV.....	63
Figura 44- Valores de refletância: Antes e Após ensaio da resistência à luz UV	64
Figura 45- Valores variação da cor: Antes e Após ensaio da resistência à luz UV	64
Figura 46- Valores emissividade média: Antes e Após ensaio da resistência à luz UV	65
Figura 47- Resultado amostra REF: Ensaio da resistência à intempérie artificial	66
Figura 48- Resultado amostra TiO ₂ : Ensaio da resistência à intempérie artificial.....	66
Figura 49- Resultado amostra SiO ₂ : Ensaio da resistência à intempérie artificial	66
Figura 50-Valores de refletância: Antes e Após ensaio da resistência à intempérie artificial.....	67
Figura 51-Valores variação da cor: Antes e Após ensaio da resistência à intempérie artificial	68
Figura 52- Valores emissividade média: Antes e Após ensaio da resistência à intempérie artificial....	68
Figura 53- Resultados: Após ensaio da resistência ao choque térmico	69
Figura 54-Valores de refletância: Antes e Após ensaio da resistência ao choque térmico	71
Figura 55-Valores variação da cor: Antes e Após ensaio da resistência ao choque térmico	71
Figura 56- Valores emissividade média: Antes e Após ensaio da resistência ao choque térmico	72
Figura 57- Valores refletância total: Antes e Após ensaios de envelhecimento	73
Figura 58- Valores refletância na região NIR: Antes e Após ensaios de envelhecimento	74
Figura 59- Valores refletância na região VIS: Antes e Após ensaios de envelhecimento	75
Figura 60- Valores ΔL Antes e Após ensaios de envelhecimento	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-Tipos de classificação HPL.	8
Tabela 2- Classificação compacto para aplicação no exterior (EN 438-6)	9
Tabela 3- Propriedades dos compactos para aplicação no exterior e respectivas normas de ensaio ...	10
Tabela 4- Reação ao fogo de revestimentos exteriores sobre fachadas.....	11
Tabela 5- Reação ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa-de-ar.....	12
Tabela 6- Resistência ao fogo em fachadas e paredes exteriores (incluindo elementos envidraçados)	12
Tabela 7- Requisitos da Resistência à Intempérie	13
Tabela 8- Propriedades Compactos Decorativos SURFORMA® : CGS e CGF.....	14
Tabela 9- Comportamento ao Fogo Compactos Decorativos SURFORMA® : CGS e CGF	15
Tabela 10- Propriedades Compacto Trespa® Mateon® e Trespa® Mateon® FR	15
Tabela 11- Comportamento ao Fogo: Compacto Trespa® Mateon® e Trespa® Mateon® FR.....	16
Tabela 12- Influência da Cor no Coeficiente de Absorção	21
Tabela 13- Tipos de nanopartículas	25
Tabela 14- Ensaio realizados e local.....	31
Tabela 15- Equipamentos para a medição da refletância solar	32
Tabela 16- Equipamentos para a medição da emissividade	35
Tabela 17- Escala Avaliação do Risco	40
Tabela 18-Condições Climáticas na Câmara Climática: Ensaio da resistência ao choque térmico	46
Tabela 19- Resultados: Ensaio da resistência à abrasão	54
Tabela 20- Massas e espessuras finais e iniciais: Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição	54
Tabela 21- Resultados: Ensaio da resistência à imersão de água em ebulição	56
Tabela 22- Resultados: Ensaio da resistência ao risco.....	59
Tabela 23: Resultados: Ensaio resistência à humidade	60
Tabela 24- Resultados: Ensaio da resistência à flexão.....	70
Tabela 25- Mudanças dos materiais de um compacto tradicional para um compacto mais recente....	76

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

HPL – Termolaminados de alta pressão

UV – Radiação ultravioleta

VIS – Radiação Visível

NIR – Near-Infrared Radiation

ASTM – American Society for Testing Materials

SiO₂ – Dióxido de Silício

TiO₂ – Dióxido de Titânio

ΔE – Alteração da Cor

ΔL – Alteração do Brilho

ρ – Refletância

α – Absortância

ε – Emissividade

g – Gramas

T – Temperatura

nm – Nanómetros

IPV – Instituto Politécnico de Viseu

EBC – Electron Beam Curing

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido em ambiente empresarial, na Surforma integrada no Grupo Sonae Indústria, no âmbito da Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

A Surforma destaca-se na produção e distribuição de laminados e compactos e oferece várias soluções inovadoras e de alta qualidade essencialmente para as Indústrias de Mobiliário, Construção e Decoração. Desenvolve soluções e produtos sustentáveis, tendo em conta os princípios de economia circular valorizando e aumentando o tempo de vida útil de todos os seus produtos [1]. Desenvolve termolaminados de alta pressão (HPL) impermeáveis e com elevada resistência mecânica.

Os HPL apresentam uma enorme versatilidade de texturas e padrões que permitem atingir diferentes mercados. Estes produtos podem ser melhorados de forma a obter propriedades antibacterianas, antifúngicas, anti mosquito, resistência ao fogo, entre outras [2].

A empresa tem interesse em explorar novas soluções inovadoras de compactos de alta pressão, com propriedades óticas da superfície melhorada, por inclusão de nanopartículas.

A introdução de novas tecnologias no setor da construção é um processo recente e visa dar resposta a problemas mais exigentes. De uma forma global, as empresas começaram por adotar novas estratégias para aumentar a eficiência a todos os níveis. O setor da construção procura novos materiais e equipamentos com a capacidade de melhorar a qualidade dos produtos em termos de eficiência energética, durabilidade, sustentabilidade, entre outros. A preocupação com a qualidade dos produtos tem vindo a crescer, mas, no entanto, a barreira do custo continua presente.

É de salientar que o custo do ciclo de vida de qualquer material engloba um conjunto de custos, nomeadamente custos de aquisição, instalação, ensaios e manutenção. Desta forma, no setor da construção é relevante ter em conta o custo global de um produto ao invés de apenas dar importância ao custo inicial, uma vez que maior investimento inicial pode significar soluções com maior qualidade e com menores custos globais ao longo da vida útil [3].

A nanotecnologia, apesar de ser recente e provocar um aumento dos custos iniciais das soluções, visa oferecer materiais com melhores características para serem aplicados no setor da construção. Os nanomateriais possuem propriedades óticas capazes de aumentar o conforto térmico dos edifícios e consequentemente poupar energia [4]. Desta forma, com a ajuda da nanotecnologia é possível incorporar novas tecnologias para a construção de edifícios inteligentes, sustentáveis, mais eficientes e duráveis.

Assim, torna-se importante avaliar algumas propriedades relacionadas com o comportamento térmico da envolvente dos edifícios. A necessidade de saber essas propriedades superficiais como a refletância solar, cor e emissividade, motivou o desenvolvimento do elemento experimental deste trabalho.

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo desta dissertação consiste na avaliação do efeito da incorporação de nanopartículas em compactos HPL. Esta avaliação consiste principalmente no estudo da durabilidade dos compactos HPL com nanopartículas quando aplicados em fachadas exteriores. O estudo do impacto da incorporação das nanopartículas foi feito através de vários ensaios experimentais, desde ensaios de qualidade, propriedades superficiais e ensaios de envelhecimento para avaliação da durabilidade.

Os objetivos parciais percorridos para alcançar o objetivo principal desta dissertação foram:

- Obter conhecimento de forma detalhada sobre termolaminados de alta pressão, nomeadamente os de aplicação no exterior (compactos HPL);
- Conhecer as normas e respetivos ensaios relativos ao estudo e avaliação dos HPL;
- Perceber qual a aplicabilidade dos compactos no setor da construção através de estudos realizados por outros autores;
- Conhecer as possíveis consequências da incorporação de nanopartículas nos compactos;
- Determinar e analisar os resultados dos ensaios de qualidade efetuados em laboratório;
- Conhecer as metodologias e equipamentos associados à determinação das propriedades superficiais das amostras produzidas;
- Implementar procedimentos de ensaio para as propriedades superficiais: refletância, cor e emissividade em ambiente laboratorial;
- Avaliar o efeito das nanopartículas nas três propriedades superficiais testadas;
- Determinar e avaliar os resultados dos ensaios de envelhecimento acelerado em compactos com e sem nanopartículas;
- Avaliar a durabilidade dos compactos HPL através da variação das propriedades superficiais após serem submetidos aos ensaios de envelhecimento acelerado.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida da seguinte forma:

- Capítulo 1: Introdução ao tema, através do enquadramento geral do estudo realizado e exposição dos principais objetivos;
- Capítulo 2: Desenvolvimento do estado de arte e fundamentos onde estão mencionados vários trabalhos, dissertações e artigos que permitem conhecer os diferentes temas presentes na dissertação. O primeiro tema está relacionado com o conhecimento das principais características e aplicações dos compactos. O segundo tema desenvolve os ensaios possíveis de serem realizados com foco nos relacionados com aplicações no exterior de fachada. O terceiro tema está relacionado com o efeito da incorporação das nanopartículas nos compactos HPL sempre com o objetivo de melhorar certas características;
- Capítulo 3: Descrição da metodologia experimental, desde materiais e equipamentos necessários para a produção das amostras e infraestrutura experimental necessária para a realização dos ensaios e obtenção de dados;

- Capítulo 4: Apresentação de todos os dados obtidos experimentalmente nos ensaios e discussão parcial de todos os resultados obtidos;
- Capítulo 5: Resumo e conclusões dos resultados apresentados no capítulo 4.

2

ESTADO DE ARTE E FUNDAMENTOS

2.1. TERMOLAMINADOS DE ALTA PRESSÃO

Os termolaminados decorativos de alta pressão, conhecidos por HPL (High Pressure Laminates) consistem numa placa que resulta da sobreposição de diferentes folhas de material celulósico, impregnadas com resinas termoendurecíveis. Para a obtenção de materiais homogêneos, não porosos e com uma densidade $\geq 1,35 \text{ g/cm}^3$, a ligação dos produtos é feita através da aplicação simultânea de calor (temperatura $\geq 120 \text{ }^\circ\text{C}$) e pressão ($\geq 5 \text{ MPa}$) que permite a cura das resinas [5].

Os laminados são placas finas com espessura inferior a 2 mm e são compostos por uma sequência de folhas kraft impregnadas com resinas fenólicas, seguida de uma folha de papel decorativo impregnado com resina melamínica e por último, uma película protetora (overlay) também impregnada com resina melamínica. Os diferentes tipos de resina conferem diferentes funções, sendo a fenólica responsável por conferir rigidez e espessura, e a melamínica pela boa resistência ao desgaste (abrasividade) e proteção do material aos raios ultravioleta [6].

Este produto apresenta uma grande versatilidade e durabilidade, numa elevada série de cores e padrões com diferentes texturas e níveis de brilho. Apresenta várias possibilidades de acabamento através de imitações de madeira, pedra natural, azulejos, diferentes cores, entre outros (figura 1). Os termolaminados de alta pressão atingem uma vasta gama do mercado pelas suas características tais como, elevada resistência mecânica, impermeabilidade e diferentes aplicabilidades. São aplicados no interior do edifício, desde cozinhas, escritórios, casas de banho, entre outros, e apresentam particularidades que possibilitam a sua aplicação no exterior [2].

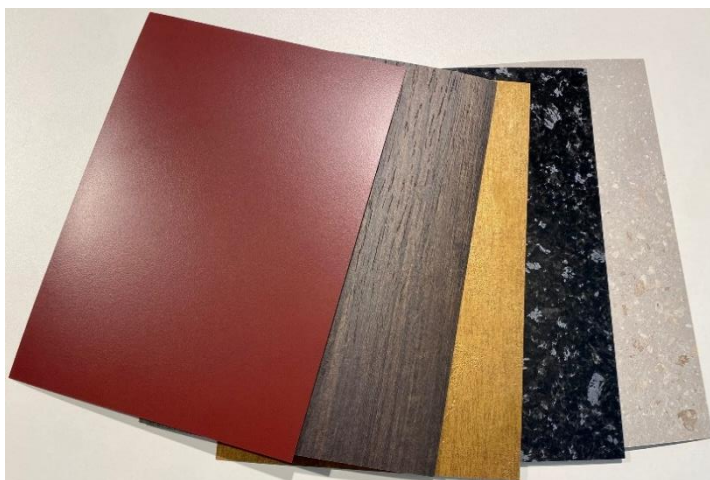


Figura 1- Amostras HPL Surforma

O processo de produção de um termolaminado de alta pressão apresenta várias etapas, cada uma com particularidades. É constituído essencialmente por quatro fases: impregnação, prensagem, acabamentos e classificação do produto. Cada tipo de papel passa por uma fase de impregnação e apenas são juntos na fase de prensagem. Na fase de impregnação, as diferentes resinas, fenólica e melamínica, são aplicadas numa linha de impregnação industrial e são parcialmente curadas. É de salientar que as resinas apenas são totalmente curadas durante a fase de prensagem. Após a obtenção das várias camadas dos diferentes tipos de papéis, estas são sobrepostas e posteriormente pressionadas a alta pressão, consolidando assim o laminado ou compacto. Durante a fase de prensagem ocorrem três tipos de ligações nos HPL. A primeira ligação é relativa à união do papel kraft com o papel kraft (de acordo com a espessura prevista), a segunda ocorre entre o papel kraft e o papel decorativo e a última ligação entre o papel decorativo e o papel overlay.

A figura 2 apresenta o processamento de laminados e compactos HPL [7].

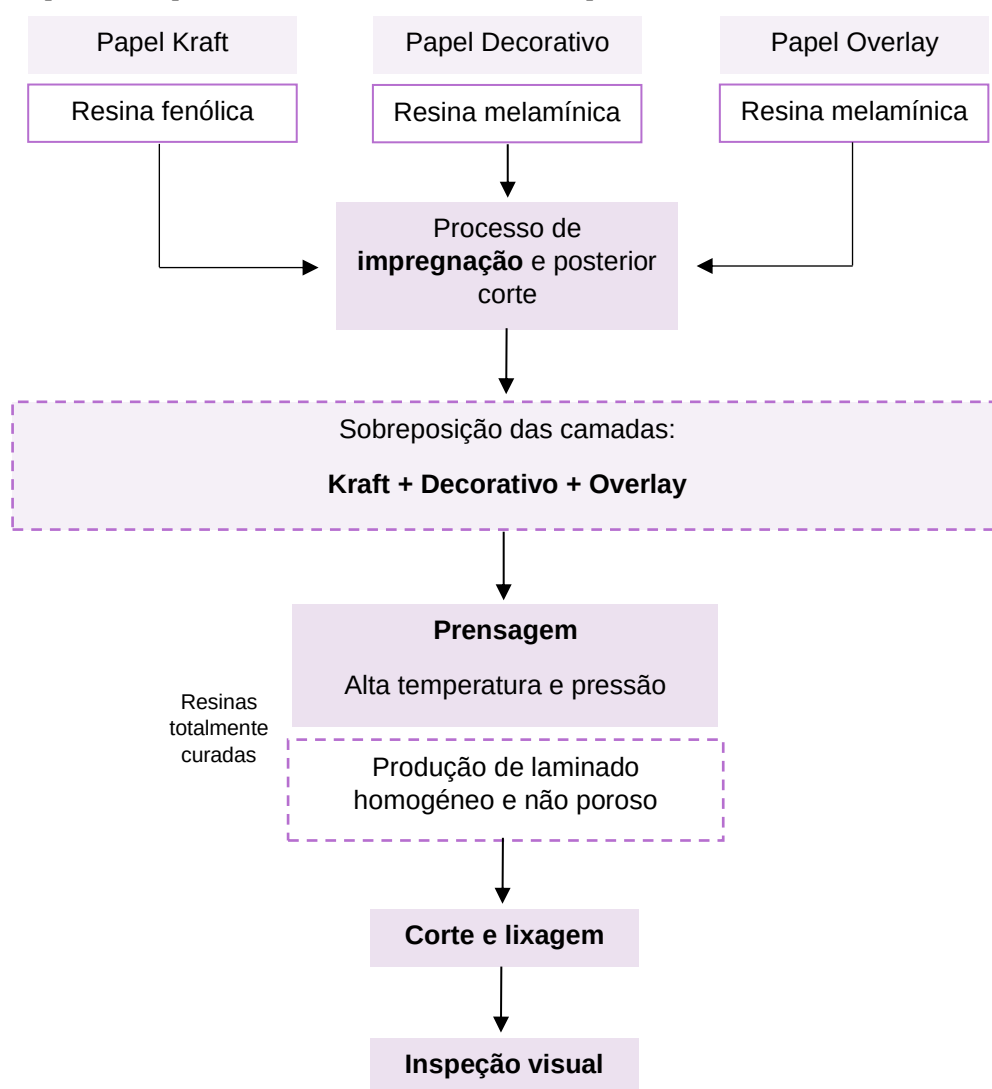


Figura 2- Processamento HPL

Dentro dos termolaminados de alta pressão existem os laminados e os compactos. A única diferença entre eles é a espessura, sendo que o compacto apresenta uma espessura maior como representado na figura 3.

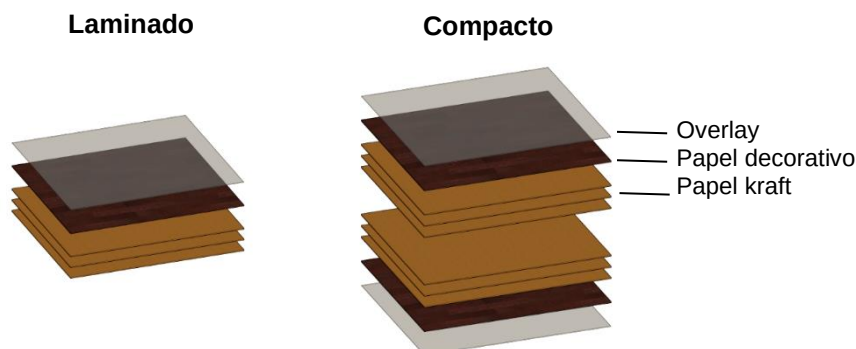


Figura 3- Diferença de um laminado e compacto

2.2. COMPACTO

2.2.1. DEFINIÇÃO

Nos últimos anos, a procura e consequente produção de laminados aumentou significativamente e foram criados materiais com diferentes características, entre eles, os compactos HPL. Os compactos HPL são um tipo de termolaminado de alta pressão que se comportam como soluções estruturais, ao contrário dos laminados que apenas são soluções de superfície. Estes materiais, apresentam mais folhas de papel kraft impregnadas com resinas fenol-formaldeído, o que origina maior espessura do produto (2 a 13 mm). Podem ainda apresentar uma ou duas faces decorativas, constituídas por um papel decorativo e um overlay protetor. As suas características e particularidades permitem que o material resista a situações de elevado desgaste e a elevados níveis de humidade [8].

2.2.2. CONSTITUIÇÃO

A constituição dos compactos HPL baseia-se em camadas de material fibroso de celulose, normalmente papel, que constituem cerca de 60-70% de um termolaminado, impregnadas com resinas. São utilizados na maioria das vezes três tipos de papel: kraft, decorativo e overlay. O papel kraft representa a camada inferior do compacto e é o que surge em maior abundância, uma vez que a quantidade de folhas de kraft é responsável pela espessura do material. Quando impregnado com resina fornece resistência à humidade, mas também contribui para a resistência mecânica e química [7]. Normalmente o papel kraft utilizado para a produção do núcleo dos laminados apresenta uma gramagem de 80 a 260 g/m². O papel decorativo é feito à base de fibra de celulose e corresponde à segunda camada do laminado. Apresenta-se sob a forma de papel fino e decorativo impresso com ou sem padrão, de madeira ou pedra. Em determinadas situações coloca-se um papel “barreira” entre as folhas de papel kraft e o papel decorativo, com o intuito de aumentar a opacidade do papel decorativo e evitar a passagem da resina fenólica para o papel decorativo durante a fase de prensagem [7]. Na camada superior do laminado encontra-se o papel overlay que confere resistência à abrasão, aumenta a durabilidade e diminui a possibilidade de manchas, riscos e humidades no material. Consiste num papel fino e transparente impregnado com resina melamínica [7].

As resinas comportam-se como agente de aglutinação na produção de laminado e a sua composição varia consoante a utilidade do material. Como referido no tópico anterior, existem dois tipos de resinas neste processo. A resina fenólica é um produto de policondensação do fenol com o formaldeído. Apresenta uma vasta gama de aplicações e é ideal para a fabricação de materiais compósitos reforçados com fibras de madeira para o uso estrutural. É conhecida pela sua capacidade de resistência química, estabilidade mecânica e isolamento térmico e acústico [9]. A resina melamínica é produzida a partir de uma reação química (polimerização) entre a melamina e formaldeído, que permite a transformação das resinas em polímeros termoendurecíveis. Uma resina deste tipo confere ao laminado um revestimento rígido e resistente ao calor e à humidade, daí ser aplicada na superfície do compacto HPL [7].

2.3. CLASSIFICAÇÃO E ESPECIFICAÇÕES DE HPL: EN 438

A norma europeia EN 438 é responsável pela caracterização dos HPL e encontra-se dividida em 9 partes. Apresenta os ensaios a realizar para a determinação das propriedades e características dos termolaminados de alta pressão bem como, os requisitos mínimos aceitáveis [10]. As partes constituintes da norma são [10]:

- EN 438-1: Introdução e informações gerais [10]
- EN 438-2: Testes para a determinação das propriedades [5]
- EN 438-3: Classificação e especificações para laminados com espessura inferior a 2 mm para aplicação sobre um suporte [11]
- EN 438-4: Classificação e especificações para laminados compactos com espessura superior a 2mm [12]
- EN 438-5: Classificação e especificações para laminados com espessura inferior a 2mm para aplicações no piso [13]
- EN 438-6: Classificação e especificações para laminados compactos com espessura de 2mm ou superior destinados a aplicações no exterior [14]
- EN 438-7: Laminados compactos e painéis HPL para aplicações em paredes internas e externas e acabamentos em tetos [15]
- EN 438-8: Classificação e especificações para laminados decorativos [16]
- EN 438-9: Classificação e especificações para laminado de núcleo alternativo [17]

Na primeira parte da norma encontra-se um código, constituído por 3 letras, para a identificação do produto. A tabela 1 apresenta os possíveis tipos de classificação.

Tabela 1-Tipos de classificação HPL

Classificação principal		Classificação secundária
H : aplicações horizontais		
V : aplicações verticais	M : metálico	G : uso geral ou moderado
C : compacto	W : madeira	D : uso intenso
E : aplicações exteriores	B : multicolor	S : <i>standard grade</i>
AC : classe de abrasão para aplicações em pavimento	R : metálico reforçado	P : <i>postforming grade</i>
A : efeito pérola	T : fino (< 2mm)	F : <i>fire-retardant grade</i>

A última letra de cada produto apenas pode ser S, P ou F. A primeira letra apenas pode ser uma da classificação principal e a segunda letra pode ser qualquer uma das restantes tanto da classificação principal como da secundária. As características da classe tipo S são a abrasividade, resistência à água, resistência ao impacto e resistência química. As características da classe tipo F são idênticas às da classe tipo S, sendo que no processo de fabrico é incrementado a resistência ao fogo. Por último, as características da classe tipo P também são semelhantes às do tipo S, mas o painel pode ser pós-moldado em condições de temperatura fixa de acordo com as especificações da fábrica.

A norma EN 438-2 descreve os métodos de ensaio utilizados para determinar o desempenho dos produtos HPL, em várias áreas de aplicação. No entanto, os métodos de ensaio não se aplicam a todos os tipos de termolaminados. As propriedades comuns a todos os produtos, numa situação de controlo de qualidade, são [5]:

- Resistência à abrasão
- Resistência à água em ebulição
- Estabilidade dimensional a temperaturas elevadas
- Resistência ao calor seco
- Resistência ao vapor de água
- Resistência ao risco
- Resistência às manchas

A sexta parte da norma aplica-se a compactos para o exterior com espessura igual ou superior a 2 mm. De acordo com a norma EN 438-6, os compactos para aplicações no exterior, são classificados de acordo com a tabela 2 [14].

Tabela 2- Classificação compacto para aplicação no exterior (EN 438-6)

1ª letra	2ª letra	3ª letra
E (exterior)	G (uso geral)	S (standard)
	D (uso intenso)	F (fire-retardant)

De acordo com a norma EN 438-6 os compactos são caracterizados pela alta resistência à tração, ao impacto, ao choque térmico, à intempérie e à corrosão. As propriedades e características dos compactos para o exterior podem ser agrupadas de acordo com a qualidade de acabamento, tolerâncias dimensionais, propriedades físicas, requisitos de resistência à intempérie e comportamento ao fogo [14].

Relativamente ao comportamento ao fogo, os produtos são classificados de acordo com a norma EN 13501-1 e os métodos de ensaio e requisitos de desempenho podem variar consoante o país. Desta forma, na norma EN 438-6 não estão incluídas as especificações para os ensaios de reação ao fogo [14] [18]. A tabela 3 apresenta, de acordo com a norma EN 438-6, as propriedades dos compactos para aplicação no exterior e as documentações, normas europeias (EN) e internacionais (ISO), onde se encontram os respetivos métodos de ensaio [14].

Tabela 3- Propriedades dos compactos para aplicação no exterior e respectivas normas de ensaio

Propriedade	Método de ensaio
Qualidade de acabamento	
Qualidade de acabamento	EN 438-2: 4
Tolerâncias dimensionais	
Espessura	EN 438-2: 5
Comprimento e largura	EN 438-2: 6
Nivelamento das extremidades	EN 438-2: 7
Nivelamento	EN 438-2: 9
Propriedades Físicas	
Resistência à humidade	EN 438-2: 15
Estabilidade dimensional a temperatura elevada	EN 438-2: 17
Resistência ao impacto de uma bola de grande diâmetro	EN 438-2: 21
Módulo de flexão	EN ISO 178
Resistência à flexão	EN ISO 178
Resistência à tração	EN ISO 527-2
Densidade	EN ISO 1183
Resistência das fixações	ISO 13895-1
Resistência à intempérie	
Resistência ao choque climático	EN 438-2: 19
Resistência à luz UV	EN 438-2: 28
Resistência à intempérie artificial	EN 438-2: 29
Comportamento ao fogo	
Reação ao fogo	EN 13501-1

2.4. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO

Os edifícios e seus componentes devem apresentar características que permitam satisfazer as necessidades dos utentes. O Regulamento dos Produtos de Construção (RPC) é desde 2013 responsável pela marcação CE de produtos de construção e revogou a Diretiva dos Produtos de Construção (DPC) que surgiu em 1988 [19]

O RCP estabelece que os produtos a incorporar, de forma permanente, em obras de construção ou em parte delas, devem apresentar características que os permitam estar aptos ao uso a que se destinam. Assim,

as obras de construção devem satisfazer, em condições normais de manutenção, os requisitos básicos das obras de construção durante um período de vida economicamente razoável [19]

Os requisitos básicos das obras de construção são sete e estão presentes na figura 4.

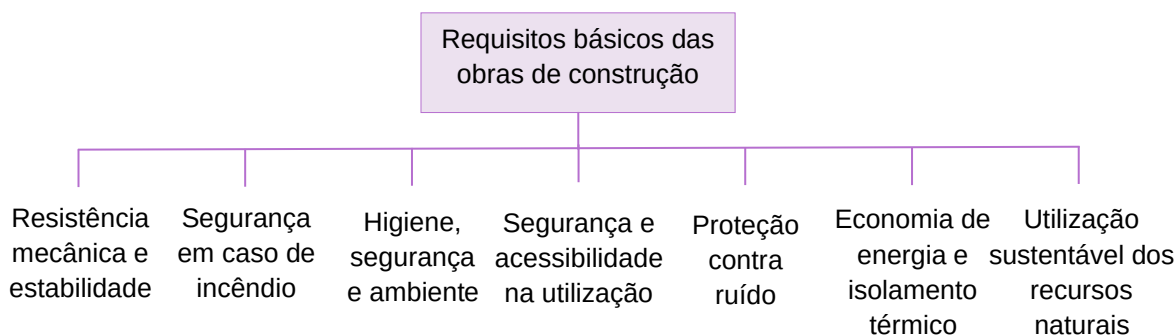


Figura 4- Exigências de Desempenho

Algumas exigências apresentadas anteriormente, requerem especial atenção especial no que diz respeito aos requisitos que lhes estão associados.

Relativamente ao fator segurança contra incêndio existem dois conceitos distintos a ter em atenção. A reação ao fogo avalia o contributo de um material para a origem e desenvolvimento de um incêndio. O sistema europeu estabeleceu sete euroclasses de reação ao fogo para classificar a contribuição de um material para o início ou desenvolvimento de um incêndio:

- A (A1 ou A2) : Sem contribuição
- B: Contribuição muito limitada
- C: Contribuição moderada
- D: Contribuição aceitável
- E: Reação ao fogo aceitável
- F: Sem classificação

De acordo com a Portaria n.º 135/2020, capítulo II, artigo 7º, os valores da reação ao fogo dos revestimentos exteriores estão de acordo com a Tabela 4, que diz respeito à reação ao fogo de revestimentos exteriores sobre fachadas de acordo com a altura do edifício e a existência ou não de aberturas na fachada, e com a tabela 5, que por sua vez diz respeito à reação ao fogo de elementos de revestimento exterior (elementos de suporte do sistema de isolamento, revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado e isolamento térmico) criando caixa-de-ar, de acordo com a altura do edifício [20].

Tabela 4- Reação ao fogo de revestimentos exteriores sobre fachadas

Reação ao fogo de revestimentos exteriores sobre fachadas		
Altura "H"	Fachadas sem aberturas	Fachadas com aberturas
$H \leq 28 \text{ m}$	D-s3, d1	C-s2, d0
$H > 28 \text{ m}$	C-s3, d1	B-s2, d0

Tabela 5- Reação ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa-de-ar

Reação ao fogo de elementos de revestimento exterior criando caixa-de-ar			
Elemento	Edifícios de pequena altura	Edifícios de média altura	Edifícios com altura superior a 28 m
Elemento de suporte do sistema de isolamento	C-s2, d0	B-s2, d0	A2-s2, d0
Revestimento da superfície externa e das que confinam o espaço de ar ventilado	C-2, d0	B-s2, d0	A2-s2, d0
Isolamento térmico	D- s3, d0	B-s2, d0	A2-s2, d0

Por outro lado, a resistência ao fogo é a propriedade de um elemento de construção, de conservar, durante um período determinado, a estabilidade e/ou a estanquidade e/ou isolamento térmico e/ou qualquer outra função específica, quando sujeito ao processo de aquecimento resultante de um incêndio. De acordo com o sistema europeu, para a classificação de um produto é necessário ter em conta alguns parâmetros como a estabilidade-R, estanquidade- E, isolamento térmico- I, radiação-W, entre outros e escalões de tempo (em minutos): 0, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360.

O Decreto-Lei nº 220 estabelece o desempenho de resistência ao fogo padrão para produtos de construção. A Tabela 6 apresenta os valores de resistência ao fogo relativos à resistência ao fogo em fachadas e paredes exteriores (incluindo elementos envidraçados) [21].

Tabela 6- Resistência ao fogo em fachadas e paredes exteriores (incluindo elementos envidraçados)

Resistência ao fogo em fachadas e paredes exteriores (incluindo elementos envidraçados)					
Classificação		Duração (minutos)			
E	15	30	60	90	120
EI	15	30	60	90	120
EW	20	30	60		

Os painéis fenólicos são conhecidos como materiais com bom comportamento ao fogo, uma vez que apresentam uma temperatura de ignição de 400°C e não produzem chama, apenas fumo e libertação de calor [22].

O conceito da durabilidade está relacionado com o fator da utilização sustentável dos recursos naturais. Os elementos de possível substituição como os painéis fenólicos, devem apresentar uma durabilidade mínima de projeto não inferior a 40 anos, quando aplicados num edifício com vida útil de projeto de 60 anos. Desta forma, os painéis devem conferir características que garantam um período mínimo de durabilidade [22].

A durabilidade de um painel quando aplicado no exterior é particularmente afetada pelos agentes climáticos, como a luz solar e chuva. Estes fatores podem levar à ocorrência da degradação da superfície, descoloração e redução das propriedades mecânicas. A norma EN 438-6 especifica os requisitos que os painéis devem conferir em relação à resistência à intempérie. A Tabela 7 apresenta os

requisitos para os produtos EGS, EGF, EDS e EDF, que estão de acordo com a classificação apresentada na tabela 2 do subcapítulo 2.3.

Tabela 7- Requisitos da Resistência à Intempérie

Resistência à intempérie					
Propriedade	Método do teste	Propriedade ou atributo	Unidades (max ou min)	Resultado	
				EGS e EGF	EDS e EDF
Resistência ao choque climático	EN 438-2: 19	Aspeto	Grau (min)	4	4
		Índice de resistência à flexão	Índice (min)	0,80	0,80
		Índice do módulo de flexão	Índice (min)	0,80	0,80
Resistência à luz UV	EN 438-2: 28	Aspeto	Grau (min)	————	4
		Contraste	Escala de cinzas (não pior que)	————	3
Resistência à intempérie artificial	EN 438-2: 29	Aspeto	Grau (min)	4	4
		Contraste	Escala de cinzas (não pior que)	3	3

2.5. APLICABILIDADE DE COMPACTOS HPL NA CONSTRUÇÃO

Os compactos são normalmente utilizados no interior do edifício, no entanto, têm vindo a surpreender as indústrias por apresentarem características que possibilitam a sua aplicação no exterior.

De seguida, de forma a perceber quais as diferentes propriedades entre um compacto que pode ser aplicado no exterior têm e um que apenas é aplicado no interior, irão ser apresentados dois tipos de compactos com distintas aplicações. O primeiro compacto é da empresa Surforma e apenas pode ser aplicado no interior do edifício. O segundo é do fabricante Trespa e apresenta características que permitem a sua aplicação no exterior.

Os compactos decorativos SURFORMA® apresentam propriedades de acordo com a norma EN 438 e são materiais para superfícies interiores, tanto horizontais como verticais. Este produto cumpre requisitos ao nível da higiene, resistência ao fogo e propriedades mecânicas. Apresentam uma superfície antibacteriana e cumpre especificações ao nível da resistência à humidade e ao impacto. Apresentam uma vasta gama de aplicações, entre elas, casas de banho e cozinhas e propriedades como durabilidade, estabilidade dimensional, resistência a manchas e riscos, fácil limpeza, entre outras [23]. A Surforma

fornece a ficha técnica com as principais propriedades dos compactos standard (CGS) e anti-fogo (CGF) (tabelas 8 e 9).

Tabela 8- Propriedades Compactos Decorativos SURFORMA®: CGS e CGF

Propriedade	Método de ensaio
Tolerâncias dimensionais	
Espessura	EN 438-2: 5
Comprimento e largura	EN 438-2: 6
Nivelamento das extremidades	EN 438-2: 7
Esquadria das extremidades	EN 438-2: 8
Nivelamento	EN 438-2: 9
Requisitos mínimos	
Resistência à abrasão	EN 438-2: 10
Resistência à imersão em água em ebulição	EN 438-2: 12
Resistência ao vapor de água	EN 438-2: 14
Resistência ao calor seco (160°C)	EN 438-2: 16
Estabilidade dimensional a temperaturas elevadas	EN 438-2: 17
Resistência ao calor húmido	EN 438-2: 18
Resistência ao impacto de uma bola de grande diâmetro	EN 438-2: 21
Resistência às fissuras	EN 438-2: 24
Resistência ao risco	EN 438-2: 25
Resistência às manchas	EN 438-2: 26
Solidez da cor à luz artificial	EN 438-2: 27
Módulo de flexão	EN ISO 178
Resistência à flexão	EN ISO 178
Densidade	EN ISO 1183

Tabela 9- Comportamento ao Fogo Compactos Decorativos SURFORMA®: CGS e CGF

Classificações típicas EN 13501-1 dos compactos na área da construção	
Reação ao fogo	
CGF $\geq 6\text{mm}$	B-s1,d0 (requerido B-s2,d0 ou melhor)
CGF $< 6\text{mm}$	C-s2,d0 ou melhor
CGS	D-s2,d0 ou melhor

O fabricante Trespa fornece informação sobre o painel Trespa® Mateon® que é aplicado no exterior do edifício e as suas propriedades estão de acordo com a norma EN 438. Este produto é um laminado compacto decorativo de alta pressão e consiste em placas constituídas por camadas de fibras naturais (papel e/ou madeira) impregnadas com resinas termo-endurecidas e camada(s) superficial(ais) em um ou ambos os lados, com cores ou padrões decorativos. O revestimento transparente aplicado nas camadas superficiais é curado através de uma tecnologia de cura por feixe de elétrons (EBC) desenvolvida pela Trespa, de forma a potenciar as propriedades de resistência a riscos e aos raios UV [24].

A ficha técnica inclui as propriedades e o método do ensaio para o produto Trespa® Mateon® ou Trespa® Mateon® FR (informação disponibilizada em Avis Technique 2/10-1397). Os resultados dos dois produtos apenas diferem no parâmetro do comportamento ao fogo, uma vez, que este varia consoante o país [24]. As tabelas 10 e 11 apresentam as propriedades consoante a ficha técnica.

Tabela 10- Propriedades Compacto Trespa® Mateon® e Trespa® Mateon® FR

Propriedade	Método de ensaio
Qualidade de acabamento	
Manchas, sujidade e defeitos	EN 438-2: 4
Fibras e riscos	
Tolerâncias dimensionais	
Espessura	EN 438-2: 5
Comprimento e largura	EN 438-2: 6
Nivelamento das extremidades	EN 438-2: 7
Nivelamento	EN 438-2: 9
Propriedades Físicas	
Resistência à humidade	EN 438-2: 15
Estabilidade dimensional a temperatura elevada	EN 438-2: 17
Resistência ao impacto de uma bola de grande diâmetro	EN 438-2: 21
Módulo de flexão	EN ISO 178
Resistência à flexão	EN ISO 178
Resistência à tração	EN ISO 527-2

Densidade	EN ISO 1183
Resistência das fixações	ISO 13895-1
Outras propriedades	
Resistência térmica / Condutividade	EN 12524
Resistência à intempérie	
Resistência ao choque climático	EN 438-2: 19
Resistência à luz UV	EN 438-2: 28
Resistência à intempérie artificial	EN 438-2: 29
Resistência ao SO ₂	DIN 50018

Tabela 11- Comportamento ao Fogo: Compacto Trespa® Mateon® e Trespa® Mateon® FR

Comportamento ao fogo de acordo com EN 438-7: Europa		
Reação ao fogo		
EDS (MATEON)	Classificação t = 6 mm / 0.2362"	D-s2,d0
	Classificação t ≥ 8 mm / 0.3150"	
EDF (MATEON FR)	Classificação t = 6 mm / 0.2362"	B-s2, d0
	Classificação t ≥ 8 mm / 0.3150"	B-s1, d0

Pela norma EN 438, os dois tipos de compactos dizem respeito a diferentes partes da norma. compactos decorativos SURFORMA® estão incluídos na parte 4 (classificação e especificações para laminados compactos com espessura superior a 2mm), e os compactos Trespa® Mateon® na parte 6 (classificação e especificações para laminados compactos com espessura de 2mm ou superior destinados a aplicações no exterior). Desta forma, os dois tipos de compactos dos diferentes fabricantes apresentam algumas distinções nas propriedades que os constituem.

Na ficha técnica do compacto Trespa® Mateon®, embora não estejam referidos os ensaios relativos à resistência à abrasão, à imersão em água em ebulição, ao vapor de água, ao calor seco, ao risco e às manchas como na ficha técnica dos compactos decorativos SURFORMA®, estas propriedades são comuns a todos os termolaminados como referido no subcapítulo 2.3.

O teste da resistência ao calor húmido apenas está presente nas características do compacto decorativo SURFORMA®, uma vez que pela norma EN 438, este teste apenas se destina a laminados decorativos utilizados em cozinhas onde é de esperar o contacto com calor húmido. A norma EN 438 também salienta que o ensaio da resistência às fissuras apenas é testado nos compactos laminados de espessura igual ou superior a 2 mm da parte 4 da norma, que é o caso dos compactos decorativos SURFORMA®.

Quatro dos ensaios realizados nos compactos Trespa® Mateon® correspondem aos ensaios que pela norma EN 438 distinguem a possibilidade de um compacto poder ser ou não aplicado no exterior. Os ensaios são:

- Resistência à humidade
- Resistência ao choque climático
- Resistência à luz UV
- Resistência à intempérie artificial.

Na ficha técnica dos nos compactos Trespa® Mateon®, ainda se encontra alguns ensaios que não estão presentes na dos compactos decorativos SURFORMA®, sendo eles, a resistência ao SO₂, resistência térmica/ condutividade e a resistência das fixações.

As empresas que utilizam os compactos laminados no exterior, realçam que estes produtos devido à sua constituição e processamento se tornam altamente duráveis, resistentes a condições atmosféricas extremas, resistentes aos raios UV e fáceis de limpar [25]. Algumas das aplicações recentes destes materiais incluem fachadas ventiladas, revestimentos exteriores, telhados, varandas, entre outros [26]. Alguns dos fabricantes mais conhecidos são Trespa®, Prodema®, Polyrey®, Fundermax® e a Arpa®.

Um tipo de aplicação destes painéis no exterior é o sistema de fachada ventilada, ainda que os compactos HPL funcionem apenas como elemento decorativo. O sistema de fachada ventilada inclui um revestimento, uma estrutura de suporte, uma caixa-de-ar/ventilação e isolamento térmico [27].

Este sistema apresenta diversas vantagens, entre as quais o chamado efeito-chaminé que consiste em remover o ar aquecido da zona inferior da caixa-de-ar. O espaço de ar ventilado entre o isolamento térmico e o revestimento exterior é responsável pela evacuação da humidade que ocorre devido a infiltrações através do revestimento exterior ou condensações que ocorram no seio do elemento construtivo (figura 5). Como a humidade é removida, o isolamento permanece eficaz e conserva-se em boas condições ao longo do tempo permitindo conforto térmico aos utilizadores [27].

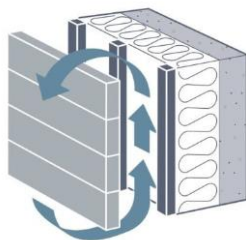


Figura 5- Funcionamento do Sistema de Fachada Ventilada [28]

No sistema de fachada ventilada, os painéis fenólicos são usados como revestimento de proteção e fachada decorativa e têm de conferir resistência e rigidez [27]. No âmbito da resistência mecânica estes painéis devem ser dimensionados de forma a resistir às diferentes solicitações que estão sujeitos: peso próprio, ação do vento, ação da temperatura e ação da humidade [22].

Os perfis instalados devem conferir rigidez e estabilidade a toda a estrutura de suporte antes da instalação dos compactos HPL, uma vez que os painéis não devem exercer qualquer função estrutural.

O peso próprio é um dos aspetos mais condicionante no dimensionamento uma vez que é alterado pela absorção de água por parte do material. Esta característica é importante em situações de grande exposição à chuva ou zonas húmidas. O dimensionamento da fachada ventilada deve ser feito de forma a evitar a instabilidade causada pelo aumento (não previsto) do peso próprio.

O vento é um fator que cria dificuldades no dimensionamento uma vez que apresenta constante variação, com grande flutuação de velocidades, e cria pressões dinâmicas nas fachadas. Desta forma, o

dimensionamento das fixações mecânicas que ligam os painéis à estrutura de suporte tem de permitir a resistência à ação do vento.

As variações de temperatura podem provocar deformações, tensões elevadas e consequentemente rotura do painel. Os painéis fenólicos para resistir a este tipo de solicitações devem apresentar estabilidade dimensional. Assim, para evitar possíveis estragos no painel, deve existir um espaço livre na fixação para permitir o movimento dos painéis causado pelas expansões ou retrações relacionadas com a variação de temperatura (calor e humidade) [29].

O aumento da massa nos compactos pode ser provocado pela humidade. Embora este aumento seja pequeno, as alterações podem causar tensões nas zonas das fixações mecânicas. Se as fixações mecânicas não forem bem dimensionadas a ação da humidade pode provocar o desprendimento do painel da fachada. A norma EN 438-2: 15 estabelece que o aumento da massa não deve passar dos 3% [22].

2.6. ABSORÇÃO SOLAR

2.6.1. RADIAÇÃO SOLAR

O desempenho térmico e energético de um edifício está relacionado em grande parte com a sua superfície, uma vez que, é através dela que ocorrem parte das trocas de calor entre o interior e o exterior. O sol é a principal fonte de radiação incidente nas superfícies opacas dos edifícios. A radiação solar corresponde à energia proveniente do sol que se propaga sob a forma de ondas eletromagnéticas curtas e constitui uma porção do espectro eletromagnético. A radiação solar que chega à superfície terrestre divide-se em duas componentes: radiação difusa e radiação direta. A radiação difusa é a radiação que foi dispersa pela atmosfera e a radiação direta é a parcela que passou livremente pela atmosfera. A figura 6 apresenta o espectro eletromagnético que é classificado em faixas de acordo com o comprimento de onda [30].

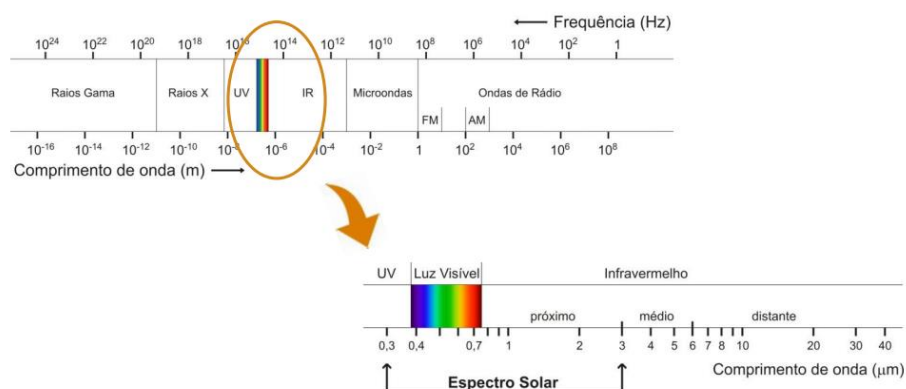


Figura 6- Espectro Eletromagnético e Espectro Solar [31]

Considera-se que aproximadamente 99% da radiação solar está compreendida nos comprimentos de onda entre os 300 e 3000 nm, sendo designado de Espectro Solar.

O espectro solar inclui:

- Radiação ultra violeta
- Luz visível

- Radiação Infravermelha

Aproximadamente metade da energia é emitida como luz visível e a outra metade engloba a zona ultravioleta (UV) e infravermelha (NIR) do espectro solar (figura 7). A região do visível é responsável pela percepção de cores no olho humano e a região do ultravioleta é responsável pela descoloração de pinturas [31].

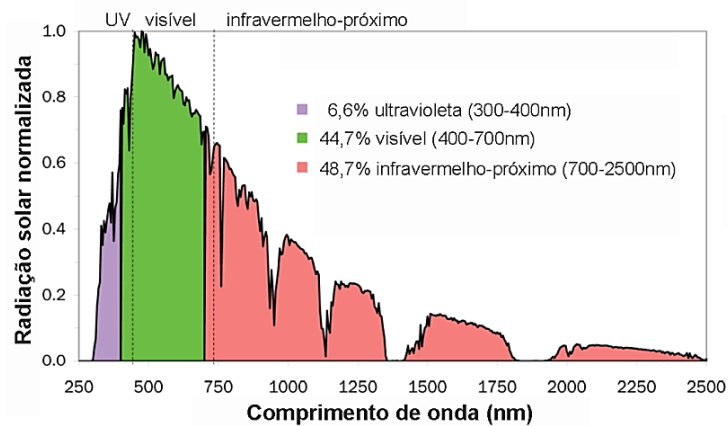


Figura 7- Espectro solar [32]

2.6.2. REFLETÂNCIA DE SUPERFÍCIES OPACAS

No que diz respeito à radiação incidente numa superfície, parte dela é absorvida (α) sendo a restante refletida (ρ) e transmitida (τ). A lei da conservação da energia obriga a que a soma dos efeitos, para uma determinada temperatura, seja igual à unidade [33] [30].

As propriedades térmicas dos materiais da envolvente importante para a avaliação do comportamento térmico dos edifícios. Relativamente às superfícies opacas da envolvente, as propriedades com mais interesse de avaliar são a refletância solar (ρ), a absorptância solar (α) e a emissividade [34].

A refletância solar (ρ) é definida pelo quociente entre a taxa de radiação solar refletida e a taxa de radiação solar incidente sobre a mesma superfície.

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} \quad (1)$$

A absorptância solar corresponde ao quociente entre a taxa de radiação solar absorvida por uma superfície e a taxa de radiação solar incidente nessa mesma superfície.

$$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i} \quad (2)$$

A refletância e absorptância apresentam valores compreendidos entre 0 e 1 e apenas basta conhecer uma destas propriedades uma vez que uma é o complemento da outra e a soma das duas será unitária ($\alpha + \rho = 1$) [34].

A emissividade (ϵ) está relacionada com a emissão de radiação eletromagnética por parte de um objeto quando o comparamos com o chamado “corpo negro”. Desta forma, a emissividade é a razão entre a radiação emitida por uma superfície e a radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura [34]:

$$\epsilon = \frac{\text{Radiação emitida superfície}}{\text{Radiação emitida corpo negro}} \quad (3)$$

Estas características podem ser medidas por diferentes equipamentos e métodos. A nível internacional, a ASTM (American Society for Testing and Materials) normaliza as seguintes normas para a medição do valor da refletância [35]:

- ASTM E903- “Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres” [36]
- ASTM C1549- “Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer” [37]
- ASTM E1918- “Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-sloped Surfaces in the Field” [38]
- ASTM E1918A- “Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-sloped Surfaces in the Field” [39].
- ASTM E1980- “Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-sloped Opaque Surfaces” [40].

2.6.3. INFLUÊNCIA DA COR

Como referido no subcapítulo 2.6.1, a região do visível do espectro eletromagnético, é a responsável pela percepção de cores no olho humano. A forma como a superfície absorve e reflete a radiação visível incidente, está relacionada com a cor do objeto. Cada cor do espectro eletromagnético corresponde a um intervalo de comprimento de onda. Quando as células do olho humano causam impulsos nervosos que são dirigidos para o cérebro, ocorre uma reação psíquica e fisiológica no observador, designada de “resposta cromática”. Existem três características associadas a esta resposta, que correspondem aos três atributos de cores: matriz, saturação e claridade. Desta forma, é recomendado identificar as cores por um conjunto de três números correspondentes aos três atributos das cores [31], [41].

Com a utilização de novas técnicas é possível haver dois revestimentos com cores semelhantes e refletância bastante diferentes. Assim, existe uma relação entre o valor da refletância e a cor do revestimento, mas não é correto adotar valores de refletância apenas em função da cor da superfície, sendo preciso ter em conta as tecnologias e respetivos métodos de medição [41].

As superfícies brancas apresentam alta refletância solar e baixa temperatura superficial, ao contrário das superfícies mais escuras que apresentam baixa refletância e elevada temperatura superficial. Os valores de refletância relativos às zonas de ultravioleta e infravermelhos podem ser controlados com a utilização de novas tecnologias [41].

De acordo com a “SAINT-GOBAIN WEBER PORTUGAL os valores do coeficiente de absorção variam de acordo com a cor superficial do produto. Esta empresa fornece os valores presentes na tabela 12 relativos à cor e absorção solar [42].

Tabela 12- Influência da Cor no Coeficiente de Absorção

Cor	Absortância (α)
Branco	0,2 a 0,3
Amarelo, creme, laranja, vermelho claro	0,3 a 0,5
Vermelho escuro, verde claro, azul claro	0,5 a 0,7
Castanho, azul vivo, azul escuro, verde escuro	0,7 a 0,9
Castanho escuro, preto	0,9 a 1

A tabela 12 comprova mais uma vez a cor superficial de um material influencia nos valores do coeficiente de absorção de radiação solar. Desta forma, o valor do coeficiente de absorção é menor em cores claras, daí o valor da refletância ser maior ($\alpha + \rho = 1$) e por sua vez, maior para cores mais escuras [42].

2.7. NANOTECNOLOGIA E NANOMATERIAIS

2.7.1. DEFINIÇÃO E PROPRIEDADES

Com o desenvolvimento da tecnologia nos últimos anos, a ciência tem vindo a crescer na área da nanotecnologia. A primeira manifestação de nanotecnologia surgiu em 1959, no encontro da Sociedade Norte-Americana de Física na CalTech e foi apresentado por Richard P. Feynman durante a palestra “There's Plenty of Room at the Bottom”. No entanto, o termo “nanotecnologia” apenas surgiu em 1974, pelo professor Norio Taguchi, que definiu a nanotecnologia como o processamento de materiais, átomo por átomo ou molécula por molécula. [43].

A nanotecnologia envolve o estudo à escala nanométrica ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$), isto é, ao nível das nanopartículas, para melhorar materiais novos ou já existentes. Uma nanopartícula apresenta pelo menos uma das suas dimensões entre 1 e 100 nanómetros. Um material, por sua vez, pode ser considerado um nanomaterial se na sua constituição apresentar 50 % ou mais de nanopartículas. A caracterização dos nanomateriais deve incluir a dimensão média das partículas, permitindo caracterizar não só as partículas isoladas como também as que se encontram agregadas [43].

As nanopartículas podem ser classificadas de acordo com o tamanho, morfologia, propriedades químicas e propriedades físicas. Normalmente os tipos de nanopartículas estão divididos em dois grupos: orgânico e inorgânico. No que diz respeito às propriedades físicas e químicas, as nanopartículas podem ser agrupadas em classes de acordo com: materiais à base de carbono, à base de metal, à base de cerâmica, semicondutores, polímeros e lípidos [44]. Os materiais à base de carbono apresentam uma grande versatilidade, elevada resistência mecânica e um enorme potencial para aplicações no domínio da eletrónica. Os materiais à base de metal têm propriedades óticas únicas devido ao efeito de ressonância plasmónica (oscilações dos eletrões da banda de condução propagam-se como ondas conduzindo a um valor de absorção que permite a alteração de cor das nanopartículas). Os materiais à base de cerâmica são estruturas inorgânicas e não metálicas e têm vastas aplicações potenciais como imagem, catálise, fotocatalise, entre outros. Os semicondutores apresentam propriedades dos materiais metálicos e não metálicos e são importantes na fotocatalise, ótica e eletrónica. Os polímeros têm uma vasta gama de aplicações como em revestimentos, tecnologia de sensores, catálise e medicina. Por último, os lípidos são considerados estruturas altamente promissoras para aplicações na biomedicina [44].

Como já mencionado, o tamanho das partículas constituintes do material aproxima-se da escala nanométrica e modifica algumas propriedades, entre elas:

- Propriedades físicas
- Propriedades químicas
- Propriedades óticas
- Propriedades elétricas
- Ponto de fusão
- Resistência mecânica

Comparando as nanopartículas com as partículas de maior dimensão, a razão superfície/volume é maior nas nanopartículas e por esse motivo, o ponto de fusão sofre um incremento. Os materiais feitos através de nanopartículas apresentam uma estrutura cristalina melhor, menos defeitos e conseqüentemente uma maior resistência mecânica quando comparados aos materiais com partículas de maior tamanho. As nanopartículas apresentam uma grande superfície específica e aumentam a reatividade dos materiais, alterando as propriedades químicas e físicas. Relativamente às propriedades elétricas, a estrutura cristalina do nanomaterial diminui a resistividade do material tornando-o um melhor condutor, mas por outro lado, o tamanho reduzido das partículas provoca um aumento na resistividade [45].

2.7.2. APLICAÇÃO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

Nos últimos anos, os nanomateriais têm vindo a ganhar importância devido às suas características e diversas aplicações em diferentes áreas como a agricultura, energia, eletrônica, farmacêutica, tecnologia, indústria alimentar, engenharia e, mais recentemente, na construção civil [4].

O primeiro documento a sintetizar de forma clara o potencial da nanotecnologia no setor construção civil foi o RILEM TC 197-NCM “Nanotechnology in construction materials”. Este documento expõe que os nanomateriais podem ser aplicados para [43]:

- Aumentar a resistência e durabilidade dos produtos cimentícios e conseqüentemente diminuir a poluição;
- Produzir aço mais barato e com menos probabilidade de corrosão;
- Melhorar o desempenho dos isolamentos térmicos;
- Produzir materiais com capacidade de autolimpeza e mudança de cor de forma a minimizar o consumo de energia;
- Produzir materiais com capacidade de autorregeneração.

Na Europa cerca de 40 % do consumo de energia e emissões de CO₂ estão relacionadas com os edifícios. Desta forma, a avaliação da sustentabilidade dos edifícios começa a ser uma necessidade para o desenvolvimento do ramo da construção a nível mundial. A aplicação de nanomateriais no setor da construção tem vindo a permitir o desenvolvimento de edifícios verdes, inteligentes, duráveis e mais eficientes [4].

Os nanomateriais apresentam propriedades óticas capazes de aumentar o conforto térmico dos edifícios e conseqüentemente poupar energia. Um dos objetivos do uso da nanotecnologia na construção é obter fachadas energeticamente e termicamente eficientes através do desenvolvimento de revestimentos com alta refletância, uma vez que, ao melhorar o desempenho térmico dos edifícios pode diminuir-se de forma significativa o consumo de energia. Parte da luz solar que atinge a superfície de um edifício é absorvida pelos edifícios e, conseqüentemente, há um incremento da temperatura do mesmo. A utilização de revestimentos com a capacidade de refletir grande parte da radiação solar incidente é um

fator decisivo para a redução da temperatura superficial do edifício que conduz à redução das necessidades de arrefecimento dos edifícios e promove o conforto térmico dos ocupantes [4].

Como referido no subtópico 2.6.1, embora a região do visível apresente a maior parte da luz solar, a região dos infravermelhos (NIR) é responsável por cerca de metade da energia solar que atinge o edifício. Por este motivo, têm-se investigado os pigmentos refletantes que aumentam a refletância na região NIR. Desta forma, no exterior dos edifícios, a libertação de calor é mais rápida e a temperatura à superfície diminui. Os nanomateriais apresentam características que os permitem comportar como materiais refletos dos raios UV e NIR, isto é, nanopigmentos aplicáveis nos edifícios com a função de pigmentos refletantes. Vários tipos de nanomateriais tem vindo a ser testados para a produção de revestimentos funcionais de forma a minimizar a energia utilizada nos edifícios, tais como:

- SiO_2 - Dióxido de silício
- TiO_2 - Dióxido de titânio
- ZrO_2 - Dióxido de zircónio
- ZnO - Óxido de zinco
- Cr_2O_3 - Óxido de cromo
- Al_2O_3 - Alumina

Geralmente, os materiais escolhidos para a produção de cool pigments, são os óxidos metálicos, uma vez que apresentam capacidade para refletir de forma seletiva radiação solar na região do visível e infravermelho. O dióxido de titânio (material branco), apresenta valores de refletância aproximadamente de 87% [43].

Desta forma, os habituais pigmentos escuros que absorvem a radiação NIR estão a ser substituídos por materiais, como os nanomateriais, com cores semelhantes e com a capacidade de obter melhores valores de refletância solar. Em suma, as nanopartículas são uma solução de grande interesse para as empresas, uma vez que, podem ser incorporadas em revestimentos de fachadas de diversas cores porque permitem refletir radiação próxima do infravermelho [4]

3

METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS

Este capítulo tem como objetivo expor os materiais utilizados e ensaios realizados para a obtenção de dados sobre a aplicabilidade de compactos HPL, com nanomateriais na sua composição, no exterior do edifício.

Os compactos realizados têm por base amostras de laminados com nanomateriais, estudadas e testadas para um trabalho de dissertação de mestrado cujo objetivo/tema era testar a possibilidade da “Incorporação de nanomateriais em HPL para melhoria da eficiência energética em fachadas”, em 2023, por Alexandra Sofia Gonçalves dos Santos. Foram testadas diversas amostras de laminado com vários tipos de nanomateriais em diferentes tamanhos e concentração. Esse trabalho está a decorrer e a ser desenvolvido em paralelo com esta dissertação.

Neste trabalho, ao invés de laminados, foram testados apenas dois tipos de compactos com as nanopartículas que apresentaram melhores resultados nos laminados estudados na dissertação da Alexandra Santos. As nanopartículas analisadas e respetivo tamanho e concentração encontram-se na tabela 13.

Tabela 13- Tipos de nanopartículas

Tipo	Tamanho	Concentração
TiO ₂	50 nm	3,75%
SiO ₂	60-70 nm	3,75%

De forma a simplificar a análise dos dados, atribuiu-se a cada tipo de compacto o seguinte código:

- REF- compacto de referência
- TiO₂- compacto com TiO₂
- SiO₂- compacto com SiO₂

Por fim, os papéis utilizados (figura 8) para a produção das diferentes amostras foram:

- Papel kraft castanho
- Papel kraft preto
- Papel overlay normal
- Papel decorativo de cor preta

É de salientar que a cor escolhida para o papel decorativo foi o preto, uma vez que é a cor mais comprometedora ao nível dos resultados, principalmente para os ensaios de refletância, cor e emissividade.

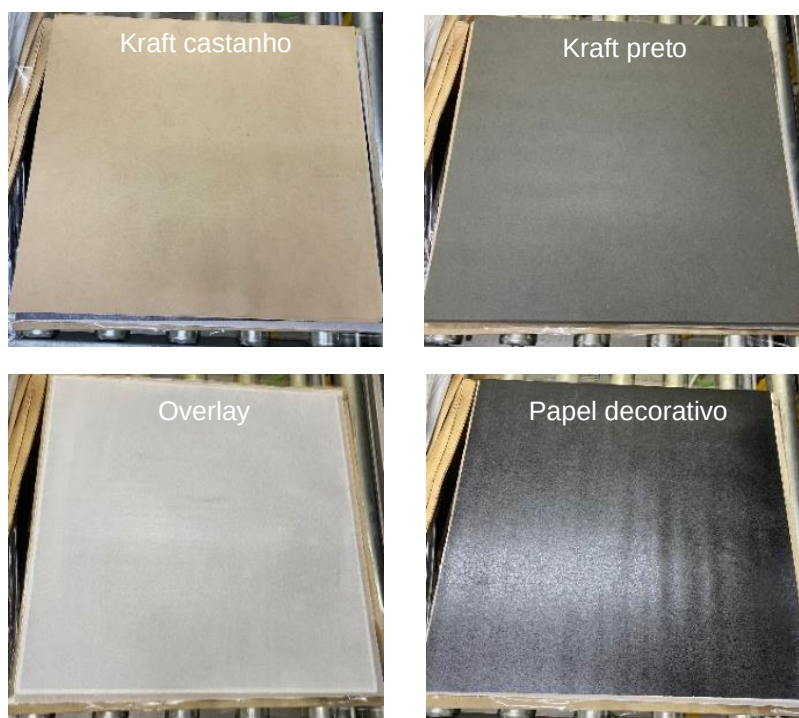


Figura 8- Tipos de papel utilizados

3.2. PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS

O primeiro passo para a produção das amostras com nanopartículas (TiO_2 e SiO_2) foi a inclusão das mesmas no papel overlay. Para isso, recorreu-se à linha de spray (figura 9) onde foi colocado a percentagem de nanopartículas, presentes na tabela 13, em conjunto com água para serem dispersas de forma homogênea ao longo do overlay.



Figura 9- Linha de Spray Surforma

A próxima etapa, após as nanopartículas serem colocadas no papel overlay, é constituída pelo processo de montagem e prensagem e é comum a todos os compactos. Neste trabalho foram realizados dois compactos de referência, dois compactos com TiO_2 e dois compactos com SiO_2 , todos com dupla face decorativa.

Na fase da montagem foram precisas, para cada amostra, 41 folhas de papel kraft preto de 213 gramas, 4 folhas de papel kraft normal de 155 gramas, 1 folha de papel decorativo, 2 folhas de papel overlay, 8 folhas de papel kraft seco, 1 folha papel separativo de polietileno e 1 placa de acabamento SMA. De acordo com as regras de utilização da prensa, todos os papéis têm de ser quadrados com 51 cm lado.

A figura 10, apresenta o processo de montagem de uma face decorativa do compacto antes de ser colocado na prensa.

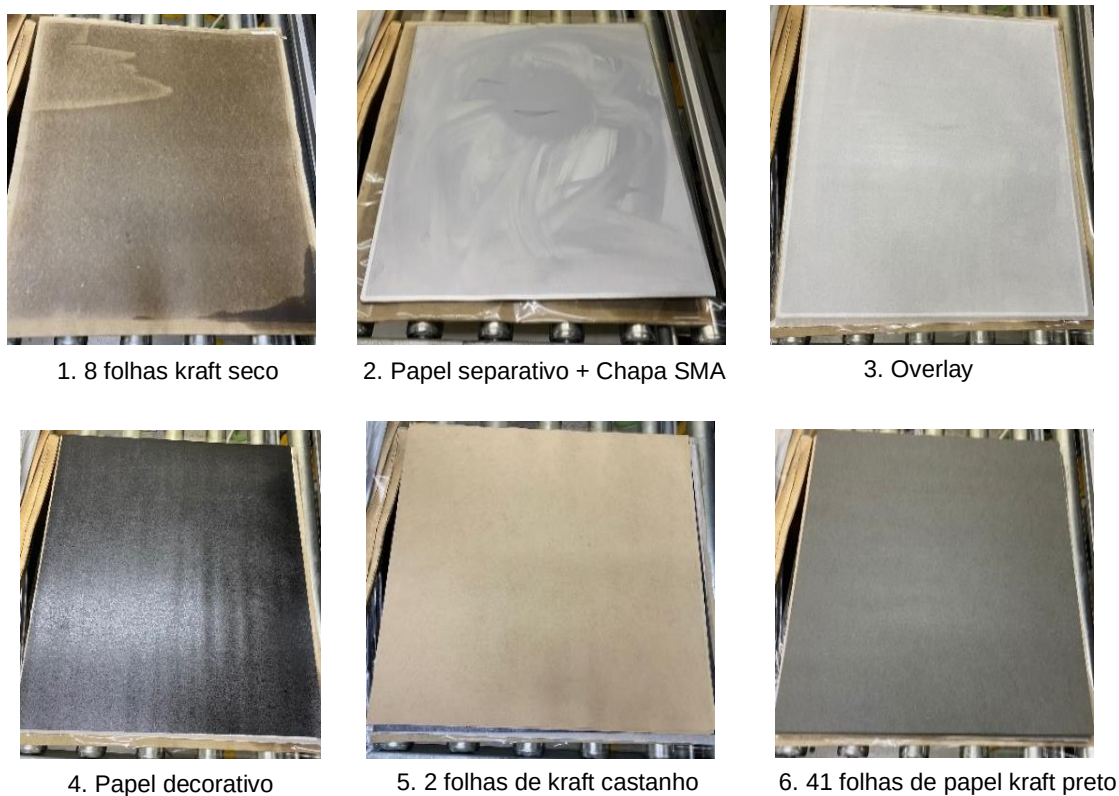


Figura 10- Processo de montagem compacto

A etapa que se segue após a montagem do compacto, é a prensagem. Para isso, é necessário programar a prensa de acordo com os seguintes parâmetros:

- Temperatura da prensa
- Temperatura das resistências
- Pressão
- Tempo de prensagem
- Tempo de arrefecimento

A prensa utilizada pertence ao laboratório da Surforma e está apresentada na figura 11.



Figura 11- Prensa de Laboratório Surforma

Após prensagem e arrefecimento cada compacto, com 51 cm lado, foi cortado em 4 quadrados iguais de acordo com a figura 12.

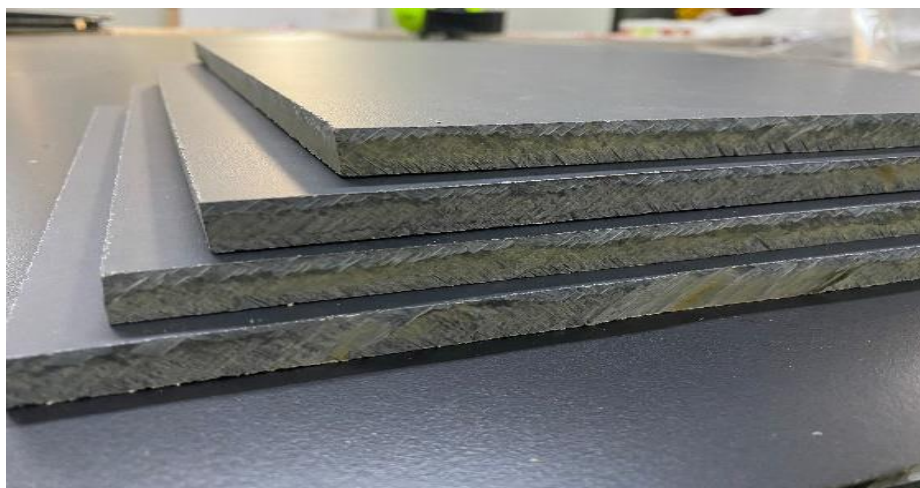


Figura 12- Compacto cortado após saída da prensa

3.3. ENSAIOS REALIZADOS

3.3.1. ENQUADRAMENTO

O comportamento de um material de construção ao longo da sua vida útil, normalmente, é testado por ensaios de curta ou longa duração e acelerados ou não. Os ensaios de longa duração embora sejam os que permitam obter resultados mais perto do real, muitas vezes não são realizados devido à sua grande demora. Nesse caso, ao invés dos ensaios de longa duração são realizados ensaios de envelhecimento acelerado. Estes ensaios, permitem a obtenção de resultados de uma forma rápida sendo possível prever o comportamento do material durante um período longo. Como o principal objetivo deste trabalho é

testar a aplicabilidade dos compactos no exterior do edifício, os ensaios de envelhecimento realizados consistem na exposição das amostras, de forma acelerada, à ação dos agentes de degradação do meio ambiente. Os agentes de degradação são controlados de forma a simular as condições reais do ambiente natural.

Após todos os compactos serem produzidos, foram executadas várias medições com o objetivo de comparar todas as amostras e escolher qual apresentava os melhores resultados. Normalmente, com a introdução das nanopartículas, a absorção da radiação infravermelha reduz e a refletância na região dos NIR aumenta e, por esse motivo, espera-se que os compactos TiO_2 e SiO_2 apresentem resultados melhores relativamente ao compacto REF.

As três propriedades superficiais avaliadas foram a refletância, a cor e a emissividade. Estas propriedades serão medidas duas vezes. Os primeiros resultados irão corresponder ao momento antes das amostras serem expostas aos ensaios de envelhecimento e os segundos resultados serão após as amostras terem sido expostas aos mesmos. Assim, no final é possível fazer uma comparação dos resultados com o objetivo de perceber se as propriedades superficiais dos compactos melhoram ou pioram após serem submetidas aos ensaios de envelhecimento. A figura 13 apresenta a metodologia experimental seguida neste trabalho.

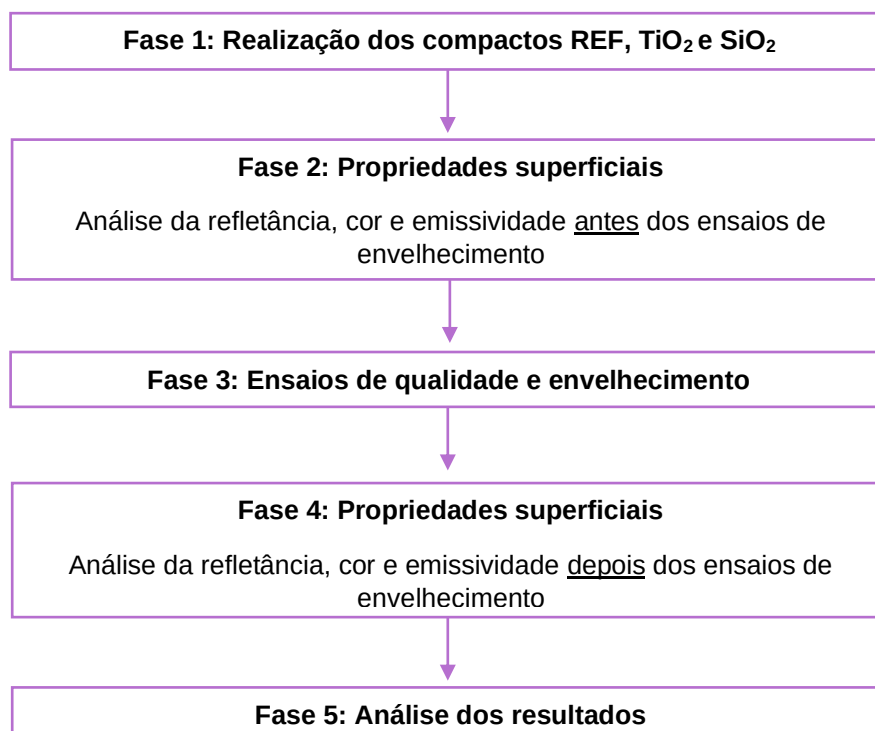


Figura 13- Metodologia Experimental

Na tabela 14 estão presentes os ensaios efetuados e respetivos locais onde foram realizados os ensaios (FEUP, Surforma e Instituto Politécnico de Viseu- IPV), consoante sejam ensaios que avaliam as propriedades superficiais, ensaios de qualidade e ensaios de envelhecimento. Tanto os ensaios de qualidade e de envelhecimento estão de acordo com a norma EN 438.

Tabela 14- Ensaios realizados e local

Propriedades Superficiais	Local
Refletância	FEUP
Cor	FEUP
Emissividade	FEUP
Ensaios de qualidade	Local
Resistência à abrasão	Surforma
Resistência à imersão em água em ebulição	Surforma
Resistência ao vapor de água	Surforma
Resistência ao impacto de uma bola de grande diâmetro	Surforma
Resistência ao risco	Surforma
Resistência à humidade	Surforma
Ensaios de envelhecimento	Local
Resistência à luz UV	IPV
Resistência à intempérie artificial	IPV
Resistência ao choque térmico	IPV

Relativamente a alguns ensaios de qualidade e envelhecimento, a norma apenas descreve o procedimento de ensaio e métodos de avaliação. Isto é, o valor máximo ou mínimo requerido num ensaio, é estipulado pela empresa nas fichas técnicas dos produtos. Por esse motivo, nos ensaios realizados na Surforma, os resultados finais irão ser comparados com os valores limite definidos nas fichas técnicas da empresa. Nos restantes ensaios, os resultados irão ser comparados com os valores definidos na ficha técnica do fabricante Trespa.

É importante salientar que em praticamente todos ensaios realizados o método de avaliação é realizado através da seguinte escala:

- Nível 1: Delaminação ou bolhas
- Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
- Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
- Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
- Nível 5: sem mudanças visíveis

Esta avaliação é realizada de forma visual e pela pessoa que está a executar o ensaio. Caso existam dúvidas na avaliação deve-se reunir um total de três pessoas para esclarecer o nível de avaliação do compacto após o término do ensaio

3.3.2 PROPRIEDADES SUPERFICIAIS: MÉTODOS DE MEDIÇÃO

3.3.2.1. Medição da refletância solar

De forma a perceber qual o efeito da introdução de nanopartículas na constituição do compacto e qual a nanopartícula que apresenta resultados mais equilibrados, foram realizadas várias medições, com o espectrofotômetro. As medições têm como principal objetivo analisar o potencial da introdução das nanopartículas em compactos com aplicação em fachadas para aumentar a refletância no NIR e consequentemente reduzir a temperatura superficial da parede, sem implicar alterações estéticas consideráveis. Por este motivo, todas as amostras apresentam um tom escuro (preto), uma vez que representa o caso mais desfavorável em termos de elevada solicitação térmica, devido à exposição solar.

A tabela 15 apresenta os equipamentos e respetivas funções, que foram utilizados para o ensaio da refletância solar. A representação de cada equipamento encontra-se na figura 15 de acordo com a numeração atribuída.

Tabela 15- Equipamentos para a medição da refletância solar

Equipamento	Função	Número
Espectrofotômetro FLAME	Deteta a radiação na região UV-VIS	1
Espectrofotômetro FLAME-NIR	Deteta a radiação na região NIR	2
fonte	Emite radiação	3
Esfera de integração	Mede a componente especular da reflexão total integrada	4
Cabo de fibra ótica	Transporta a radiação proveniente da fonte até à esfera de integração	5
Cabo de fibra ótica	Parte da esfera de integração e segue até ao espectrofotômetro que se encontra conectado a um computador através de um cabo USB.	6
Computador	Apresenta um software próprio do espectrofotômetro que permite ao utilizador, induzir as especificações pretendidas para as medições que pretende executar	7

Pela tabela 15 conclui-se que existem dois tipos de espectrofotômetro (figura 14). O espectrofotômetro FLAME é utilizado para medir a refletância e a cor na região dos UV-VIS e o espectrofotômetro FLAME-NIR é utilizado para medir a refletância e a cor na região dos NIR.



Figura 14- Espectrofotômetro Flame e Espectrofotômetro Flame-NIR

A figura 15 apresenta a instalação experimental e respectiva legenda dos equipamentos presentes na tabela anterior. É de notar que quando se mede a radiação na região UV-VIS o equipamento número 2 é substituído pelo equipamento número 1.

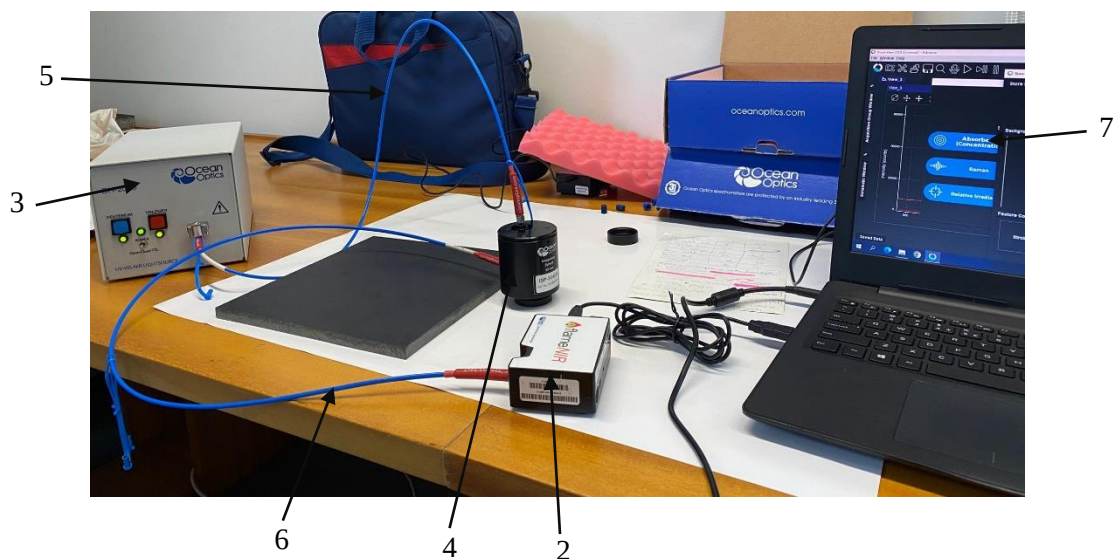


Figura 15- Instalação Experimental: Refletância Solar

Para a obtenção dos valores da refletância das diferentes amostras a norma seguida foi a ASTM E 903-20, *Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres*.

Inicialmente, antes da realização das medições em concreto, é necessário seguir os seguintes passos:

- Ligar a fonte de radiação à corrente e ligar o interruptor situado na parte de trás do equipamento;
- Ligar as duas lâmpadas integradas no equipamento;
- Deixar a fonte aquecer 20 minutos ou mais;
- Fazer a ligação fonte-esfera de integração e esfera de integração-espectrofotômetro através dos dois cabos de fibra ótica;
- Ligar o espectrofotômetro ao computador através de um cabo USB;
- No computador, iniciar o software e no menu escolher o tipo de medição a efetuar. Para a medição da refletância nos diferentes tipos de radiação (UV-VIS e NIR) é necessário introduzir as especificações pedidas pelo software;

- Efetuar a calibração do espectrofotômetro;
- Abrir o obturador para a fonte emitir radiação e posicionar a esfera de integração no topo da amostra padrão. Após duas leituras, o valor da refletância máxima é captado;
- Após captação do valor máximo da refletância, é retirado o valor da refletância mínima;
- Iniciar as medições: 3 medições por amostra em 3 pontos distintos da mesma;
- Após as medições nos 3 pontos, é necessário calibrar novamente o espectrofotômetro;
- Repetir os passos até terminar todas as medições necessárias.

Com recurso ao Microsoft Office Excel, todos os dados foram introduzidos numa folha de cálculo que permitiu aceder e avaliar os valores. No capítulo 4 estes dados serão disponibilizados.

3.3.2.2. Caracterização da cor

A cor para além de ser importante para a estética do edifício, determina o comportamento higrotérmico do edifício. A caracterização da cor das 3 amostras de tom escuro foi feita através da análise da variação da mesma. O compacto com nanopartículas, TiO_2 e SiO_2 , que apresentar menor variação de cor, em comparação ao compacto de referência será o melhor em relação a este parâmetro.

A alteração da cor (ΔE) representa a diferença de cor entre a amostra padrão e a amostra que sofreu alteração. O cálculo do ΔE é dado pela equação:

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

Para que a variação total da cor de uma amostra não seja perceptível a olho nu, o valor de ΔE deve ser menor ou igual a 3 [46]

Para a realização da caracterização da cor das amostras, a infraestrutura experimental necessária é a mesma do subtópico 3.3.2.1. Desta forma, é necessário um espectrofotômetro com capacidade de caracterizar a cor das amostras de acordo com o sistema CIELab [47]. O que difere deste ensaio para o ensaio da refletância é basicamente o foco da análise. Neste caso, ao invés da refletância, mede-se a cor e parâmetros associados e a configuração do software também difere de acordo com o que é definido pelo sistema CIELab.

Para a realização deste ensaio seguiu-se os seguintes passos:

- Repetir os passos 1 a 5 descritos no subcapítulo 3.3.2.1;
- Selecionar no menu do software o ícone “color” (opção de medição de cor);
- O software ao reconhecer que o espectrofotômetro se encontra calibrado seleciona automaticamente a opção “existing processing”;
- O software apresenta um fluxograma onde se insere o local para onde será exportado o ficheiro com os resultados de cada medição;
- Iniciar com o espectrofotômetro as medições;
- Realizar 3 medições em 3 pontos diferentes;
- No final das 3 medições de cada ponto é necessário calibrar novamente o espectrofotômetro.

3.3.2.3. Medição da emissividade

A emissividade, como a refletância, depende da constituição do material de construção que normalmente apresentam elevada emissividade. Como referido anteriormente, a emissividade é uma percentagem da

energia emitida por um corpo negro. Desta forma, o objetivo da inclusão das nanopartículas nos compactos é perceber se a quantidade de radiação emitida é menor quando comparada ao compacto sem nanopartículas.

A tabela 16 apresenta quais os equipamentos necessários para a medição da emissividade das amostras. A representação de cada equipamento encontra-se na figura 16 de acordo com a numeração atribuída.

Tabela 16- Equipamentos para a medição da emissividade

Equipamento	Função	Número
Voltímetro	Fornece as leituras da emissividade.	1
Emissômetro	Mede a emissividade em contacto direto com a superfície da amostra.	2
Suporte do emissômetro	Suporta o emissômetro durante o aquecimento e calibração do mesmo.	3
Corpo negro	Placa metálica preta que simula um material com emissividade de 0,88. Utilizado para a calibração do emissômetro.	4
Corpo de baixa emissividade	Placa metálica preta que simula um material com emissividade de 0,05. Utilizado para a calibração do emissômetro	5
Água destilada	Cria aderência entre o corpo negro e o corpo de baixa emissividade e o suporte do emissômetro.	6
Chave de fendas	Utilizada para calibrar o emissômetro	7

A instalação experimental e respetiva legenda dos equipamentos presentes na tabela anterior estão presentes na figura 16.

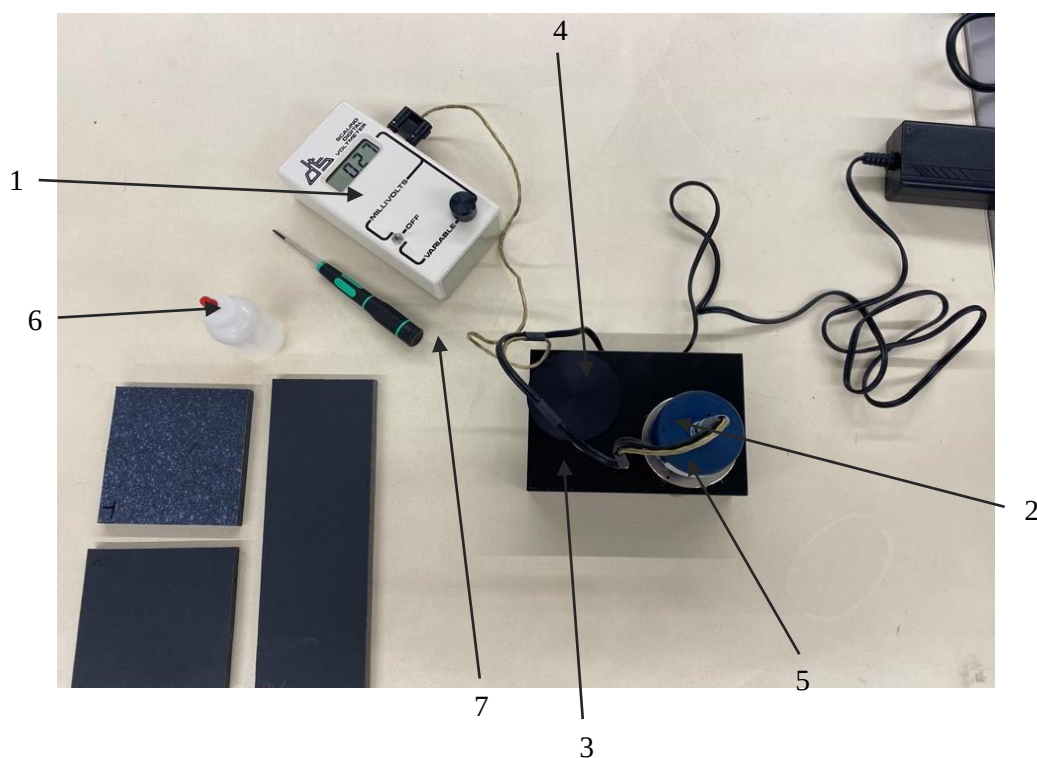


Figura 16- Instalação Experimental: Emissividade

Para a obtenção dos valores da emissividade das diferentes amostras a norma seguida foi a ASTM C1371. O procedimento de ensaio seguido para a medição da emissividade foi:

- Montagem da instalação experimental.
- Ligar o emissómetro à corrente elétrica;
- Deixar o emissómetro aquecer durante 30 minutos;
- Colocar duas gotas de água, uma para cada placa metálica, de forma a criar aderência entre as placas e o suporte do emissómetro;
- Ligar o voltímetro com interruptor na posição “variable”;
- Posicionar o emissómetro na placa preta e esperar entre 60 e 90 segundos;
- Ajustar, no voltímetro, a emissividade até 0,88;
- Posicionar o emissómetro na placa prateada;
- Ajustar no emissómetro, com a chave de fendas, o valor da emissividade até 0,05;
- Repetir o processo até ao emissómetro apresentar 0,88 para a placa preta e 0,05 para a placa prateada;
- Posicionar o emissómetro em contacto direto na superfície da amostra;
- Ler o valor da emissividade indicado no voltímetro;
- Realizar as medições pretendidas.

3.3.3. ENSAIOS DE QUALIDADE

3.3.3.1. Resistência à abrasão

Segundo a norma EN 438-2, para a realização deste ensaio é necessário um abrasímetro e lixas. No caso de compactos são precisas duas amostras quadradas com 105 mm de lado. O procedimento seguido para a realização deste ensaio foi:

1. Marcar o centro das amostras e furar com o berbequim;
2. Colocar a amostras e lixas no equipamento;
3. Ligar a aspiração e o equipamento, seguindo-se a seleção do número de rotações a efetuar (começar com 50 rotações);
4. Iniciar a rotação das lixas, prestando muita atenção à evolução da superfície do compacto de forma a observar o ponto inicial (PI):
 - No caso de referências lisas, PI corresponde ao momento em que, em algum ponto do laminado, o papel kraft fica exposto;
 - No caso de impressos, PI corresponde ao momento em que, em algum ponto do compacto, a imagem é desgastada;
5. Se findas 500 rotações o teste não tiver terminado, substituir lixas;
6. Observar ponto final (PF):
 - No caso de referências lisas, PF corresponde ao momento em que 95% do papel kraft ficar exposto.
 - No caso de impressos, PF corresponde ao momento em que 95% da imagem está desgastada.

Neste caso, o nível de desgaste do compacto corresponde ao intervalo do número de rotações necessárias para que kraft fique exposto (PI) e para que 95% do papel kraft fica exposto (PF). O equipamento utilizado neste ensaio chama-se abrasímetro e está presente na figura 17.



Figura 17- Abrasímetro

3.3.3.2. Resistência à imersão em água em ebulição

Para a execução deste ensaio são precisas 3 amostras quadradas com 50 mm de lado. Os fatores avaliados no final do ensaio são o aumento massa e espessura e a possíveis alterações na superfície dos compactos. O procedimento seguido para realização do ensaio foi:

1. 3 amostras colocadas numa câmara climática: $T = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{HR} = 50\%$; $t = 72\text{h}$ antes do início do teste;
2. Medir a espessura nos 4 vértices da amostra e a massa de cada amostra;
3. Colocar as amostras num suporte que evite o contacto entre elas e com as paredes do reservatório onde irão ser colocadas;
4. Colocar as amostras num suporte que evite o contacto entre elas e com as paredes do reservatório onde irão ser colocadas. O reservatório contém água destilada e é aquecido até atingir os $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. As amostras permanecem dentro do reservatório 2 h;
5. Após as amostras serem retiradas é necessário arrefecerem noutro reservatório com água destilada a $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ cerca de 15 min. O excesso de água é retirado num papel;
6. No final, mede-se novamente a massa e a espessura das 3 amostras. O aspeto do laminado é analisado e avaliado numa escala de 1 a 5:
 - ❖ Nível 1: Delaminação ou bolhas
 - ❖ Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
 - ❖ Nível 5: sem mudanças visíveis

A figura 18 apresenta dois momentos diferentes do ensaio, legendados respetivamente, com a letra A, - equipamentos necessários para a medição da massa e espessura das amostras-, e B- reservatório com água em ebulição onde se coloca as amostras.

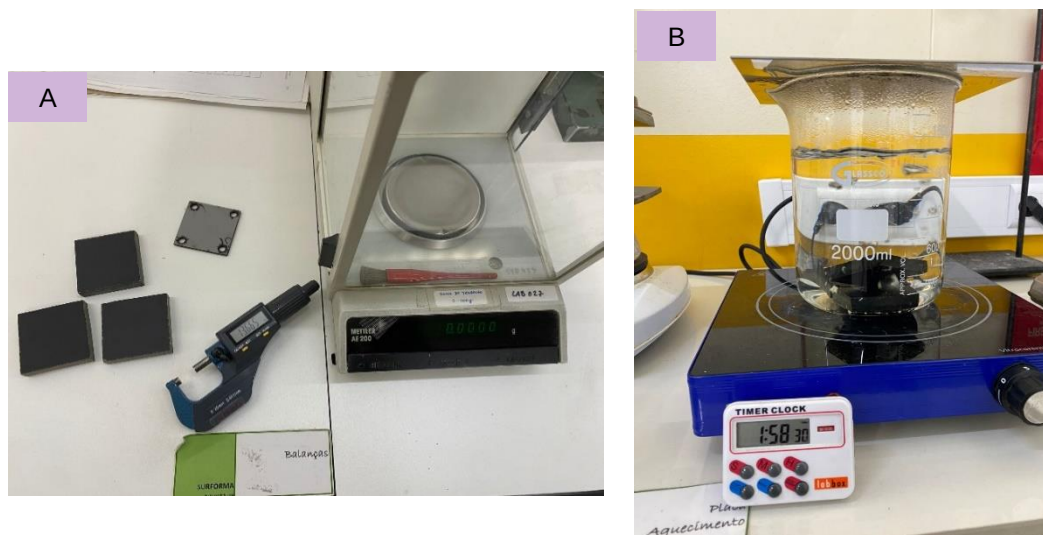


Figura 18- Equipamentos: Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição

3.3.3.3. Resistência ao vapor de água

O ensaio da resistência ao vapor de água pretende avaliar o efeito na superfície da amostra. Para a realização deste ensaio, são precisas duas amostras quadradas com 100 mm de lado. O procedimento seguido para realização deste ensaio foi:

1. Colocar a amostra durante 1 h, por cima de um Erlenmeyer de 250 ml, que contem cerca de 200 ml de água a uma temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$;
2. A face decorativa da amostra é virada para baixo para estar em contacto com a água. É colocado um peso por cima do compacto para evitar que este se desloque;

3. Após recolher a amostra, retira-se o excesso de água e o compacto permanece 24h nas condições ambiente;
4. Após esse período, a superfície do compacto é avaliada através de uma escala de 1 a 5:
 - ❖ Nível 1: Delaminação ou bolhas
 - ❖ Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
 - ❖ Nível 5: sem mudanças visíveis

O equipamento utilizado neste ensaio está representado na figura 19.



Figura 19- Equipamento: Ensaio da resistência ao vapor de água

3.3.3.4. Resistência ao impacto de uma bola de grande diâmetro

Para a execução deste ensaio, foi utilizada 1 amostra com 230 mm de lado. O procedimento seguido para realização do ensaio foi:

1. Fixar a amostra na base do aparelho de ensaio;
2. Cobrir a amostra com uma folha de papel químico;
3. Fixar a bola de aço sobre o ímã que se encontra à altura mais alta ($H \geq 1,8\text{m}$);
4. Libertar a bola;
5. Caso se verifique danos na face do compacto repetir o ensaio na próxima altura mais alta a seguir a 1,8m até que não se verifique qualquer alteração na superfície do compacto.

A figura 20 apresenta os equipamentos utilizados neste ensaio, legendados respectivamente, com a letra A, B e C. A letra A corresponde ao equipamento do ensaio, a B ao suporte do equipamento onde se coloca a mostra e a C à bola de aço.

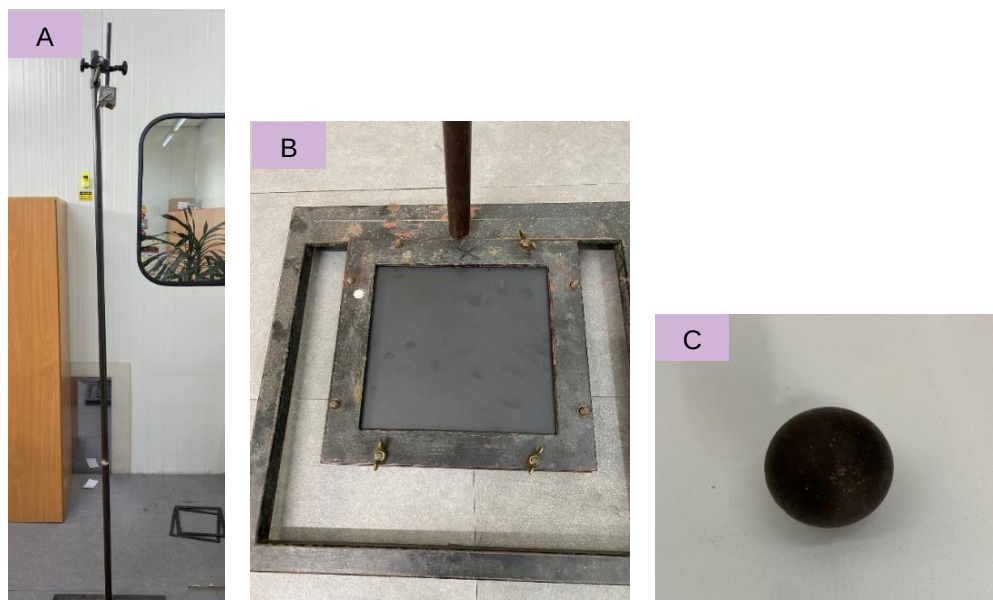


Figura 20- Equipamentos: Ensaio da resistência ao impacto de uma bola de grande diâmetro

3.3.3.5. Resistência ao risco

A resistência ao risco é medida através do equipamento do risco (figura 21) e são necessárias 2 amostras de 100 x 100 mm. O procedimento seguido para realização do ensaio foi:

1. Marcar o centro da amostra e furar com o berbequim;
2. Limpar a superfície da amostra com álcool;
3. Acondicionar a amostra no aparelho de risco;
4. Por cada carga medida, efetuar dois riscos espaçados (alguns milímetros entre eles);
5. Aumentar a carga do equipamento até que sejam visíveis riscos contínuos em todos os quadrantes da amostra;
1. Observar a amostra na caixa de luz e aferir o nível resultante através da escala presente na tabela 17.

Tabela 17- Escala Avaliação do Risco

	Riscos descontínuos ou marcas superficiais leves ou sem marcas visíveis	≥ 90% círculo duplo contínuo de riscos claramente visíveis
Grau 5	6N	>6N
Grau 4	4N	6N
Grau 3	2N	4N
Grau 2	1N	2N
Grau 1	-	1N

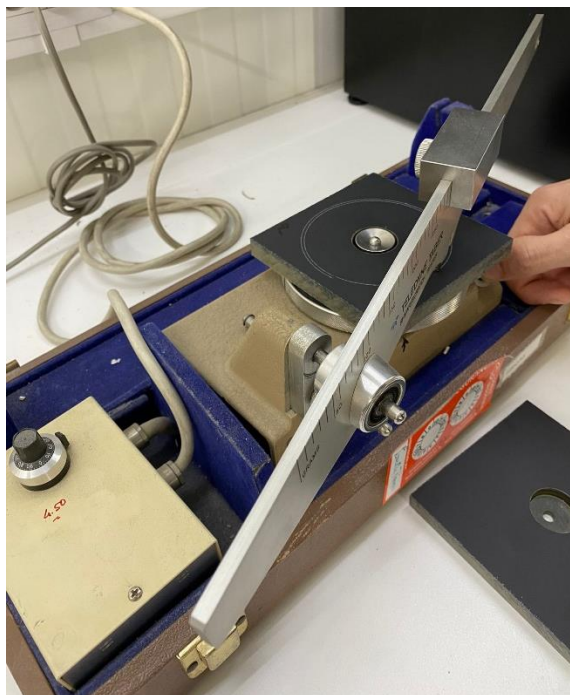


Figura 21-Equipamento: Ensaio da resistência ao risco

3.3.3.6. Resistência à humidade

Este ensaio permite simular a influência da humidade a longo prazo no compacto. A resistência à humidade é avaliada através do aumento da massa no compacto e qualquer alteração na sua aparência. São precisas 4 amostras quadradas com 150 mm de lado sendo que uma delas serve de referência para as restantes. O procedimento seguido para realização do ensaio foi:

1. Colocar as 3 amostras durante 72h na câmara climática a 23°C e 50 % de humidade relativa;
2. Pesar cada amostra;
3. Colocar as amostras nos suportes e de seguida imersas em água a uma temperatura de 65°C durante 48 horas;
4. Retirar as amostras da água;
5. Colocar as amostras durante 15 minutos num recipiente com água destilada a 23° C;
6. Limpar as amostras com um pano seco ou papel para remover toda a água da superfície;
7. Pesar novamente as amostras;
8. Visualizar a olho nu cada amostras para verificar qualquer alteração seu aspeto através da escala:
 - Nível 1: Delaminação ou bolhas
 - Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
 - Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
 - Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
 - Nível 5: sem mudanças visíveis
9. No final do ensaio, calcular a humidade absorvida por cada amostra, através da expressão:

$$\frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (5)$$

- ❖ m1- massa da amostra antes da imersão em água
- ❖ m2- massa da amostra depois da imersão em água

A humidade absorvida pelo compacto é dada pela média dos valores das três amostras.

As figuras 22 e 23 apresentam, respetivamente, a câmara climática utilizada e o recipiente utilizado para colocar as amostras submersas em água.

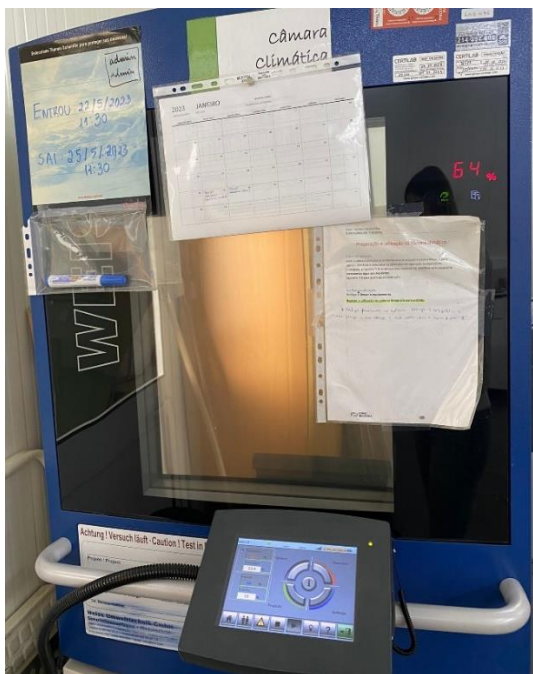


Figura 22- Câmara Climática: Ensaio da resistência à humidade



Figura 23- Recipiente com água: Ensaio da resistência à humidade

3.3.4. ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO

3.3.4.1. Resistência à luz UV

A resistência à luz UV consiste na simulação da degradação da superfície por exposição a altos níveis de radiação UV e humidade. São necessárias 4 amostras de 100 x 100 mm. O equipamento utilizado foi uma câmara climática que contém 8 lâmpadas UV. O procedimento seguido para realização do ensaio foi:

1. Colocar 3 amostras de cada tipo de compacto na câmara climática durante 250h e programá-la para 31 ciclos de 8h cada um. Cada ciclo apresenta as 2 etapas seguintes:
 - 4 horas de condições secas, isto é, apenas com radiação (temperatura de 60 °C)
 - 4 horas de condensação (simulação de chuva) onde não há radiação (temperatura de 50 °C)
2. Retirar as amostras para inspecionar visualmente e avaliá-las de acordo com a seguinte escala:
 - ❖ Nível 1: Delaminação ou bolhas
 - ❖ Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
 - ❖ Nível 5: sem mudanças visíveis

As figuras 24 e 25 apresentam a câmara climática utilizada. Na figura 25 a câmara climática está aberta e pode-se verificar as diferentes luzes, a água destilada que entra na câmara e o local onde se coloca as amostras.



Figura 24- Câmara Climática fechada: Ensaio da resistência à luz UV



Figura 25- Câmara Climática aberta: Ensaio da resistência à luz UV

3.3.4.2. Resistência à intempérie artificial

No ensaio da resistência à intempérie artificial, o compacto é exposto à influência da luz do dia, através da simulação feita por uma ou mais lâmpadas de arco xénon e chuva. Neste ensaio são necessárias 4 amostras de 100 x 100 mm. O equipamento utilizado foi uma câmara climática com lâmpadas arco xénon, filtros daylight Q e um black-panel a 65 °C (figura 26). O procedimento seguido para realização do ensaio foi:

1. Colocar 3 amostras de cada tipo de compacto na câmara climática com humidade relativa a 65% durante 250h e programá-la para 125 ciclos de 2h cada um. Cada ciclo apresenta as 2 etapas seguintes:
 - 18 minutos com chuva e radiação
 - 102 minutos apenas com radiação
2. Retirar as amostras para inspecionar visualmente e avaliá-las de acordo com a seguinte escala:
 - ❖ Nível 1: Delaminação ou bolhas
 - ❖ Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
 - ❖ Nível 5: sem mudanças visíveis



Figura 26- Câmara climática: Ensaio da resistência à intempérie artificial

3.3.4.3. Resistência ao choque térmico

No ensaio da resistência ao choque térmico, as amostras são submetidas em primeiro lugar a ciclos de mudanças de temperatura e humidade relativa. Para este ensaio foram utilizadas 2 amostras de cada tipo de compacto e os equipamentos necessários foram uma câmara climática e o equipamento da flexão.

O procedimento seguido para realização do ensaio foi:

1. Colocar 1 das 2 amostras de cada tipo de compacto durante 5 dias na câmara climática, programa de acordo com a tabela 18.

Tabela 18-Condições Climáticas na Câmara Climática: Ensaio da resistência ao choque térmico

		Condições climáticas	
	Duração	Temperatura	Humidade relativa
1º dia	8	+80	90
	16	+80	
2º dia	8	+80	90
	16	-20	
3º dia	8	+80	90
	16	+80	
4º dia	8	-20	
	16	+80	
5º dia	8	+80	90
	16	-20	

2. Retirar as amostras e deixá-las durante 24°C numa atmosfera padrão: temperatura 23 °C e humidade relativa a 50%.
3. Após as 24h visualizar as amostras e avaliá-las de acordo com a seguinte escala de 1 a 5:
 - ❖ Nível 1: Delaminação ou bolhas
 - ❖ Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
 - ❖ Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
 - ❖ Nível 5: sem mudanças visíveis
4. Submeter todas as amostras ao teste de flexão para no final conseguir comparar qual o módulo de rotura e elasticidade das amostras antes e depois de serem submetidas a este ensaio de envelhecimento.

O ensaio de flexão consiste em submeter a amostra a diversos tipos de tensão, uma vez que na parte superior desta é submetida à compressão e a parte inferior submetida à tração. A carga é aplicada em dois pontos da amostra. Quando a amostra sofre qualquer tipo de rotura os resultados aparecem num software que nos dá qual a força máxima de rotura, o módulo de elasticidade e o módulo de rotura. Os equipamentos utilizados estão representados nas figuras 27 e 28. A figura 27 é relativa à camara climática e a 28 ao equipamento de flexão.



Figura 27- Câmara climática: Ensaio da resistência ao choque térmico



Figura 28- Equipamento Resistência à Flexão

4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ENQUADRAMENTO

Neste capítulo irão ser apresentados e discutidos os ensaios realizados e respetivos resultados para os três tipos de compactos. Para isso, foi feita a comparação entre o compacto REF e os compactos TiO_2 e SiO_2 com o objetivo clarificar se realmente a incorporação de nanopartículas melhora as propriedades dos materiais e se não altera a durabilidade e aspeto dos mesmos. Também se realizou a comparação entre os compactos que apresentam nanopartículas na sua composição, TiO_2 e SiO_2 , com o objetivo de compreender se o tipo de nanopartícula interfere, de uma forma significativa, com os resultados.

Após a realização do compacto TiO_2 foi possível concluir que as nanopartículas TiO_2 não dispersam bem na água. Desta forma, o compacto com TiO_2 é menos homogêneo (figura 29) e pior esteticamente do que o compacto SiO_2 (figura 30).



Figura 29- Amostra TiO_2



Figura 30- Amostra SiO₂

4.2. PROPRIEDADES SUPERFICIAIS

4.2.1. REFLETÂNCIA SOLAR

As medições da refletância solar foram feitas antes e após as amostras serem expostas aos ensaios de envelhecimento: resistência ao choque térmico, resistência à luz UV e resistência à intempérie artificial.

Numa primeira fase, mediu-se a refletância dos compactos REF, TiO₂ e SiO₂ e fez-se uma análise comparativa entre esses valores. De forma a simplificar a interpretação dos dados e perceber o impacto das nanopartículas na composição de um compacto, procedeu-se ao cálculo da média da refletância total, na região VIS e na região NIR. O gráfico da figura 31 apresenta os resultados da refletância antes dos ensaios. O gráfico está legendado de acordo com o tipo de amostra: REF, TiO₂ e SiO₂ e com a refletância medida, isto é:

- Total: Refletância total
- VIS: Refletância na região do visível
- NIR: Refletância na região NIR

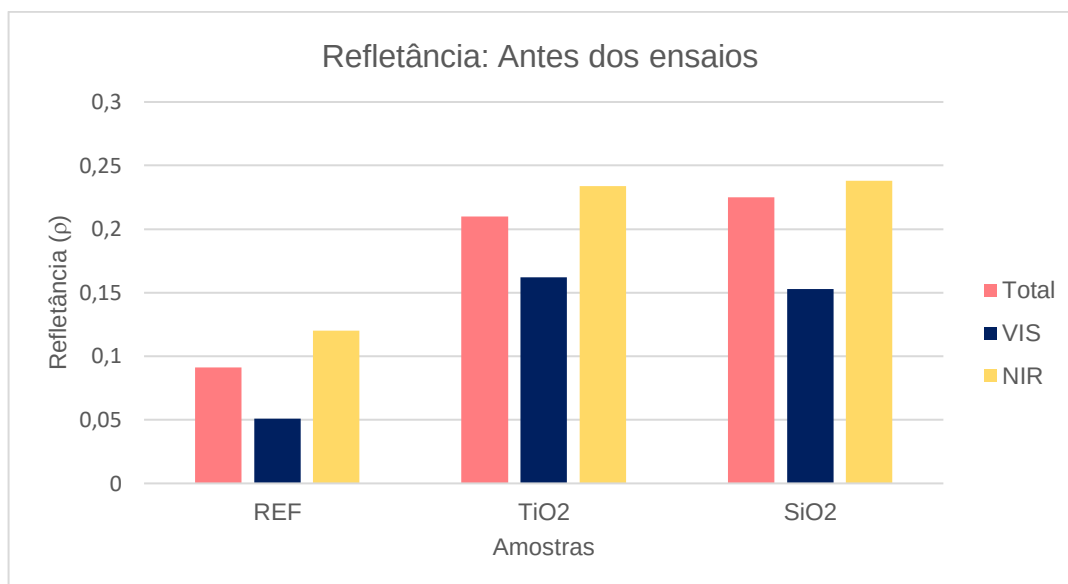


Figura 31-Valores de refletância antes dos ensaios de envelhecimento

De acordo com a figura 31, a incorporação de nanopartículas tem um impacto significativo nos valores da refletância na região VIS e NIR. Embora ambas as amostras com nanopartículas apresentem valores similares, o valor de refletância total e na região NIR é superior na amostra com SiO₂. O significado deste resultado pode estar relacionado com o facto de a amostra com TiO₂ apresentar uma mistura menos homogênea e, por isso, haver zonas da amostra onde a concentração de nanopartículas seja reduzida.

No tópico 4.4, irão ser apresentados os resultados relativos à refletância das amostras REF, TiO₂ e SiO₂, após estas serem submetidas a estes ensaios. Os subtópicos onde serão apresentados esses valores são:

- 4.4.1: Ensaio da resistência à luz UV
- 4.4.2: Ensaio da resistência à intempérie artificial
- 4.4.3: Ensaio da resistência ao choque térmico

4.2.2. COR

Para a caracterização e análise da alteração da cor das amostras foram realizadas medições com o espectrofotómetro como referido no tópico 3.3.2.2.

De seguida serão apresentados os valores da variação da cor das amostras com nanopartículas antes e após serem expostas aos ensaios de envelhecimento.

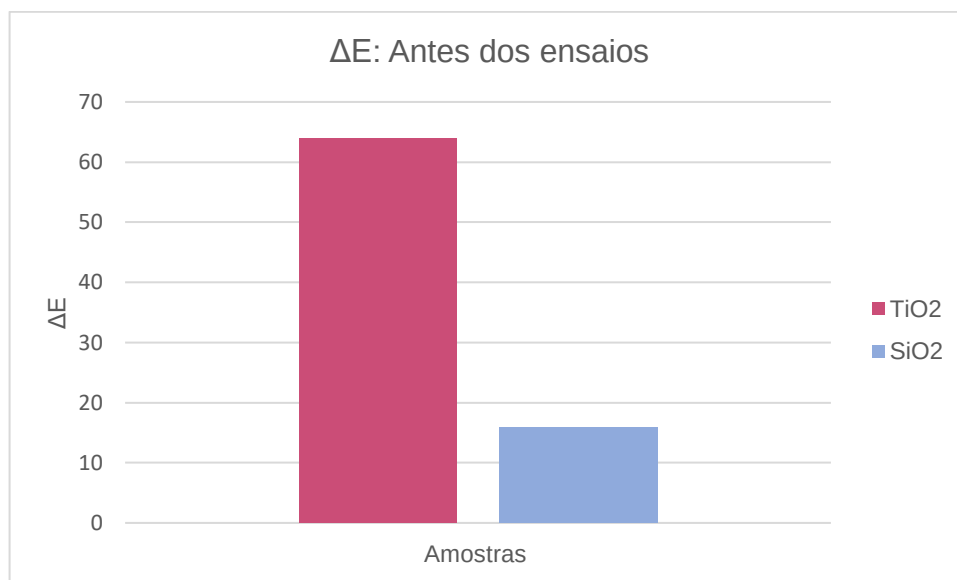


Figura 32- Variação da cor nas amostras com TiO₂ e SiO₂

Os resultados demonstram que ambas as amostras com nanopartículas apresentam uma variação de cor maior do que o esperado ($\Delta E \leq 3$). Pela figura 29 do tópico 4.1, é perceptível que a amostra com TiO₂ sofreu uma grande alteração da cor na presença da nanopartícula, sendo este o resultado esperado. Na amostra com SiO₂, a variação da cor medida também foi significativa, embora este resultado não seja visível a olho nu (figura 30).

No tópico 4.4, irão ser apresentados os resultados relativos à variação da cor das amostras REF, TiO₂ e SiO₂, após estas serem submetidas a estes ensaios.

4.2.3. EMISSIVIDADE

As medições da emissividade foram feitas antes e após as amostras serem expostas aos ensaios de envelhecimento. A figura 33 apresenta os valores da emissividade antes dos ensaios.

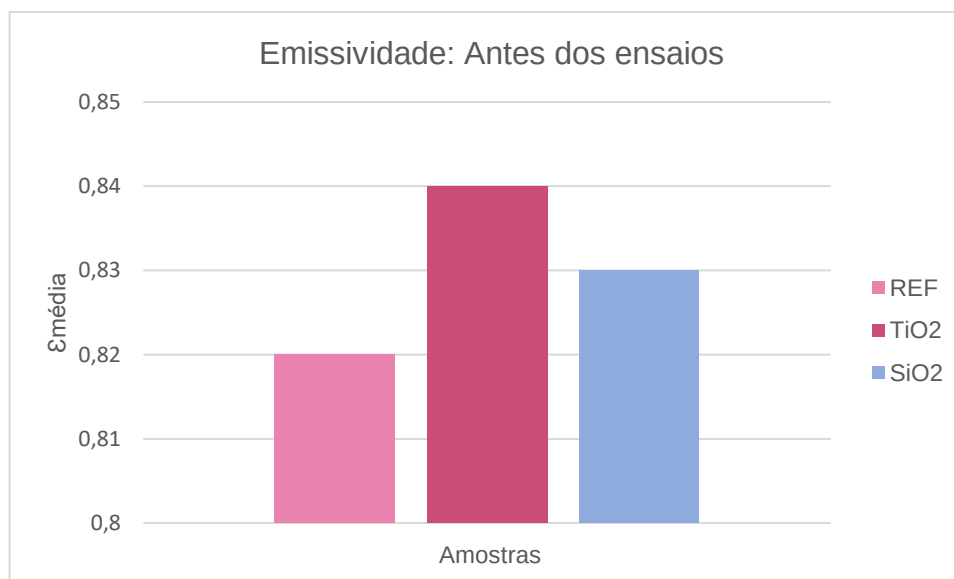


Figura 33- Valores da emissividade antes dos ensaios de envelhecimento

De acordo com a figura 33 podemos concluir que a introdução de nanopartículas não afeta de forma significativa a emissividade do material.

No tópico 4.4, irão ser apresentados os resultados relativos à emissividade das amostras REF, TiO₂ e SiO₂, após estas serem submetidas a estes ensaios.

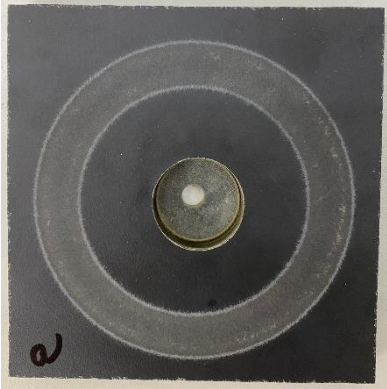
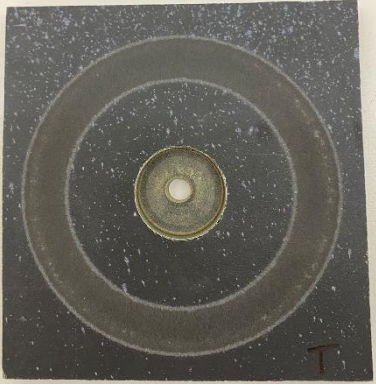
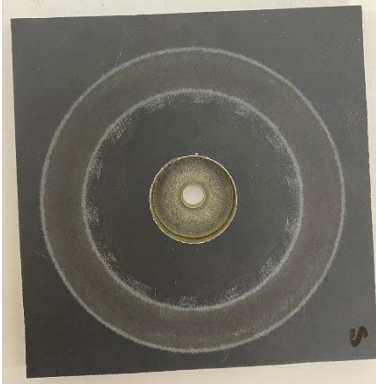
4.3. ENSAIOS DE QUALIDADE

4.3.1. RESISTÊNCIA À ABRASÃO

O nível de desgaste do compacto corresponde ao intervalo entre o número de rotações necessárias para que kraft fique exposto (PI) e o número de rotações em que 95% do papel kraft fica exposto (PF).

De seguida, na tabela 19, irão ser apresentados os resultados das três amostras após o ensaio da resistência à abrasão.

Tabela 19- Resultados: Ensaio da resistência à abrasão

REF	TiO ₂	SiO ₂
		
Nível de desgaste: PI-PF 600-650	Nível de desgaste: PI-PF 650-700	Nível de desgaste: PI-PF 650-700

Os resultados demonstram que, para todas as amostras, é necessário um elevado número de rotações para que o papel kraft fique exposto. O valor do ponto inicial tem de ser igual ou superior a 150. Desta forma, neste ensaio todas as amostras apresentam bons resultados, uma vez que, os valores para o ponto inicial são bastante superiores a 150.

4.3.2 RESISTÊNCIA À IMERSÃO EM ÁGUA EM EBULIÇÃO

Neste ensaio, foram feitas duas medições de massa e espessura. A primeira medição foi realizada antes das amostras estarem em contacto com água em ebulição, sendo a segunda medição realizada após o mesmo.

Na tabela 20 irão ser representados os valores, para cada tipo de compacto (REF, TiO₂ e SiO₂), da espessura em quatro pontos distintos e da massa antes e após o contacto com a água em ebulição.

Tabela 20- Massas e espessuras finais e iniciais: Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição

REF				
Amostra 1	Massa inicial (g)	Espessuras iniciais	Massa final (g)	Espessuras finais
Ponto 1	44,6221	10,931	44,8990	10,976
Ponto 2		10,773		10,954
Ponto 3		10,803		11,563
Ponto 4		10,882		11,067
Amostra 2	Massa inicial (g)	Espessuras iniciais	Massa final (g)	Espessuras finais

Ponto 1	44,9440	11,010	45,2116	11,071
Ponto 2		10,906		11,528
Ponto 3		10,084		11,002
Ponto 4		10,963		11,195
Amostra 3	Massa inicial (g)	Espessuras iniciais	Massa final (g)	Espessuras finais
Ponto 1	45,2487	10,209	45,5004	11,218
Ponto 2		11,983		11,104
Ponto 3		10,781		11,126
Ponto 4		11,259		11,241
TiO ₂				
Amostra 1	Massa inicial (g)	Espessuras iniciais	Massa final (g)	Espessuras finais
Ponto 1	36,2049	9,479	36,5895	9,635
Ponto 2		9,635		9,744
Ponto 3		9,856		10,033
Ponto 4		9,822		9,906
Amostra 2	Massa inicial (g)	Espessuras iniciais	Massa final (g)	Espessuras finais
Ponto 1	35,3849	9,881	35,8072	9,929
Ponto 2		9,942		10,142
Ponto 3		9,533		9,757
Ponto 4		9,619		9,878
Amostra 3	Massa inicial (g)	Espessuras iniciais	Massa final (g)	Espessuras finais
Ponto 1	35,7505	9,608	36,1387	9,607
Ponto 2		9,510		9,932
Ponto 3		9,512		9,981
Ponto 4		9,427		9,980
SiO ₂				
Amostra 1	Massa inicial (g)	Espessuras iniciais	Massa final (g)	Espessuras finais
Ponto 1	35,2159	9,481	35,5830	9,811
Ponto 2		9,485		9,855

Ponto 3		9,521		10,045
Ponto 4		9,486		9,888
Amostra 2	Massa inicial (g)	Espessuras iniciais	Massa final (g)	Espessuras finais
Ponto 1		9,509		9,734
Ponto 2		9,454		9,867
Ponto 3	36,2146	9,455	36,7750	9,894
Ponto 4		9,528		9,815
Amostra 3	Massa inicial (g)	Espessuras iniciais	Massa final (g)	Espessuras finais
Ponto 1		9,436		9,669
Ponto 2		9,452		9,712
Ponto 3	36,5360	9,484	36,8293	9,742
Ponto 4		9,551		9,677

Após os resultados obtidos, foi feita a média das espessuras iniciais e finais para as três amostras de cada tipo de compacto. No final, o aumento da massa e espessura é dado pela média dos valores obtidos anteriormente.

Na tabela 21 irão ser apresentados os resultados obtidos neste ensaio e os valores máximos aceites.

Tabela 21- Resultados: Ensaio da resistência à imersão de água em ebulição

Amostra	Variação da massa admissível (%)	Variação máxima da massa (%)	Variação da espessura admissível (%)	Variação máxima da espessura (%)
REF	0,59		2,72	
TiO ₂	1,11	8,00	2,33	11,20
SiO ₂	1,13		3,40	

Todas as amostras apresentam valores de variação de massa e espessura abaixo dos valores máximos requeridos. Por esse motivo, todas as amostras cumprem os requisitos para este ensaio.

No final do ensaio, analisou-se visualmente as alterações observáveis das amostras ensaiadas. Para isso, fez-se uma comparação entre estas e a amostra padrão, através da seguinte escala:

- Nível 1: Delaminação ou bolhas
- Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
- Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
- Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
- Nível 5: sem mudanças visíveis

Nas figuras 34, 35 e 36 estão representadas as amostras (REF, TiO_2 e SiO_2) submetidas (S) e não submetidas ao ensaio (NS).

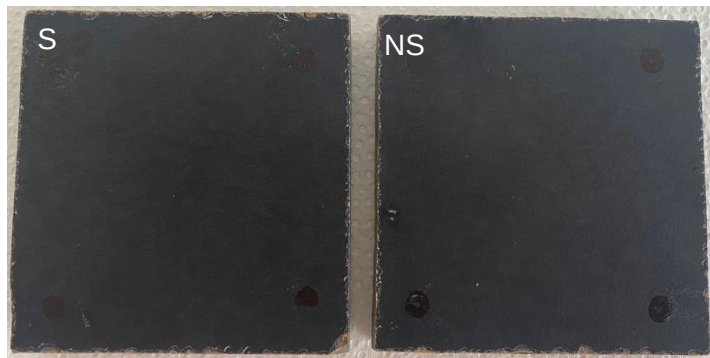


Figura 34- Resultado amostra de referência: Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição

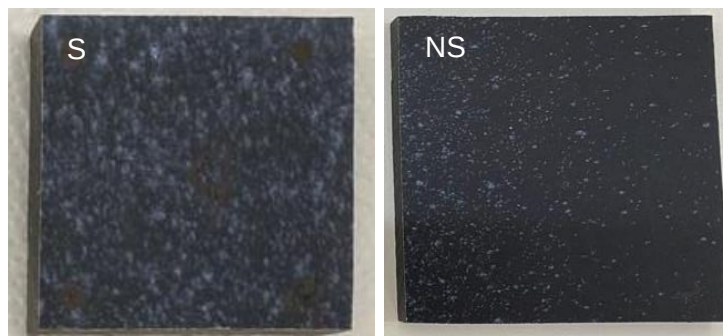


Figura 35- Resultado amostra TiO_2 : Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição



Figura 36- Resultado amostra SiO_2 : Ensaio da resistência à imersão em água em ebulição

As amostras REF e SiO_2 não apresentaram mudanças visíveis após o término do ensaio. Assim, o nível de classificação das duas é 5 (sem mudanças visíveis). A amostra com TiO_2 apresentou mudanças moderadas no brilho e na cor e, por isso, o nível de classificação é 3.

Relativamente à escala de avaliação referida anteriormente, a classificação máxima aceite para este ensaio é 3. Desta forma, todas as amostras cumprem o valor requerido.

4.3.3 RESISTÊNCIA AO VAPOR DE ÁGUA

Neste ensaio, cada uma das amostras esteve em contacto direto, durante 1h, com o vapor de água proveniente de um recipiente com água a 100 °C.

No final do ensaio, é necessário analisar visualmente as diferenças entre o compacto submetido ao ensaio (S) e o compacto não submetido (NS). Essa avaliação é feita através da seguinte escala:

- Nível 1: Delaminação ou bolhas
- Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
- Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
- Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
- Nível 5: sem mudanças visíveis

As amostras com TiO_2 e SiO_2 , após a realização do ensaio, estão presentes na figura 37.

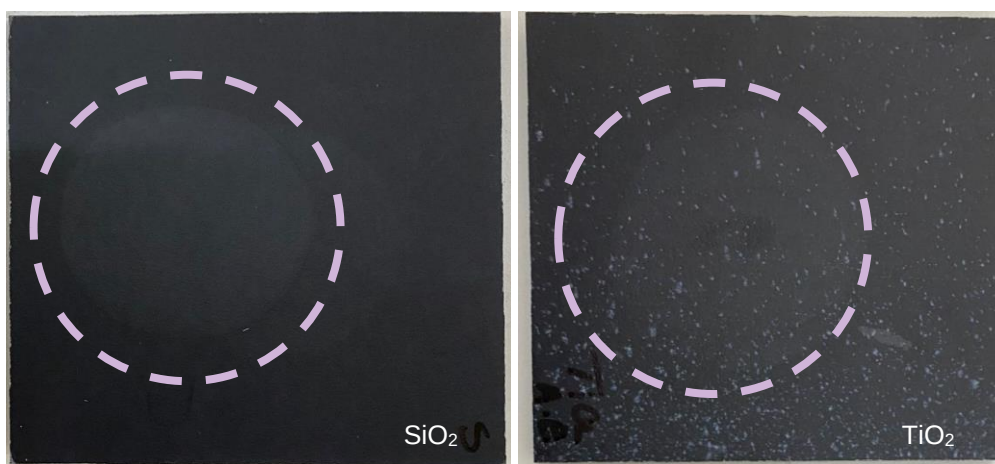


Figura 37- Resultados: Ensaio da resistência ao vapor de água

Os dois compactos com nanopartículas, apresentaram mudanças ligeiras no brilho sendo-lhes atribuído o nível 4.

Relativamente à escala de avaliação referida anteriormente, a classificação máxima aceite para este ensaio é 3. Desta forma, todas as amostras cumprem o valor requerido.

4.3.4. RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE UMA BOLA DE GRANDE DIÂMETRO

Neste ensaio, libertou-se, à altura mais alta ($H \geq 1,8\text{m}$), a bola de aço de forma a esta cair no centro do compacto. Como referido anteriormente, apenas se deve diminuir a altura de lançamento se forem verificadas alterações nos compactos.

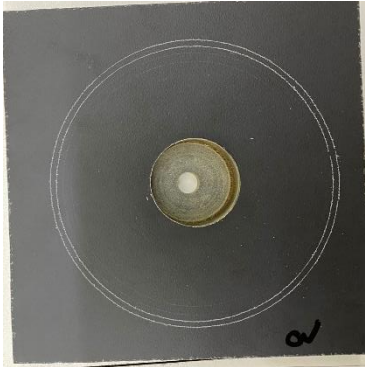
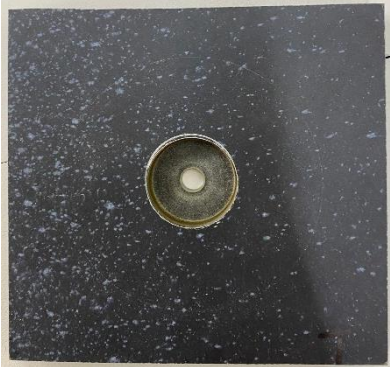
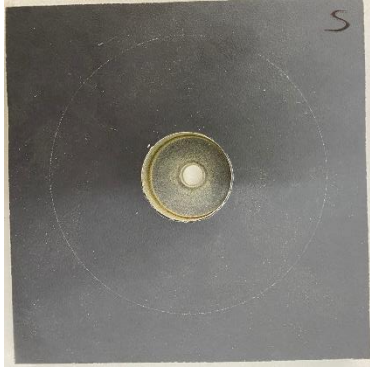
Neste caso, todos os compactos em estudo resistiram à queda da bola da altura mais elevada ($H \geq 1,8\text{m}$) e, por esse motivo, cumprem os valores requeridos.

4.3.5 RESISTÊNCIA AO RISCO

Para a avaliação da resistência ao risco seguiu-se a escala presente na tabela 17 do subtópico 3.3.3.5.

As amostras foram submetidas a diferentes cargas até que fossem visíveis riscos contínuos em todos os quadrantes da amostra. A tabela 22 apresenta os resultados deste ensaio.

Tabela 22- Resultados: Ensaio da resistência ao risco

REF	TiO ₂	SiO ₂
		
≥ 90% círculo duplo contínuo de riscos claramente visíveis: Grau 3 (4N)	Riscos descontínuos ou marcas superficiais leves ou sem marcas visíveis: Grau 3 (4N)	Riscos descontínuos ou marcas superficiais leves ou sem marcas visíveis: Grau 3 (4N)

O grau mínimo requerido quando se verifica 90% ou mais de círculo duplo contínuo de riscos claramente visíveis é de 3. No entanto, quando apenas são visíveis riscos descontínuos ou marcas superficiais leves, o grau mínimo é de 2. Desta forma, conclui-se que todas as amostras cumprem aos valores exigidos.

4.3.6. RESISTÊNCIA À HUMIDADE

Este ensaio permite simular a influência da humidade a longo prazo no compacto. A resistência à humidade é avaliada através do aumento da massa e qualquer alteração estética visível. Esta alteração é avaliada através da escala:

- Nível 1: Delaminação ou bolhas
- Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
- Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
- Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
- Nível 5: sem mudanças visíveis

A tabela 23 apresenta os resultados da humidade média absorvida pelas três amostras.

Tabela 23: Resultados: Ensaio resistência à humidade

Amostra	Peso após Cclimática (g)	Peso após 48h água 65°C (g)	$\frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$	Humidade absorvida final (%)
REF	330,19	335,48	1,6021	1,60
REF	333,43	339,06	1,6885	
REF	324,19	329,13	1,5238	
TiO ₂	321,78	333,69	3,7013	3,17
TiO ₂	321,98	331,07	2,8232	
TiO ₂	323,21	332,85	2,9826	
SiO ₂	291,64	300,26	2,9557	3,49
SiO ₂	292,39	304,02	3,9776	
SiO ₂	285,52	295,58	3,5234	

Pela observação da tabela 23, é possível verificar que as amostras com TiO₂ e SiO₂ apresentaram valores de absorção de água maiores do que a amostra REF.

A percentagem de humidade absorvida deve ser menor ou igual que 3%. Desta forma, conclui-se que a única amostra que cumpre o valor limite é a de referência.

Nas figuras 38, 39 e 40 estão representadas as amostras (REF, TiO₂ e SiO₂) submetidas (S) e não submetidas ao ensaio (NS).

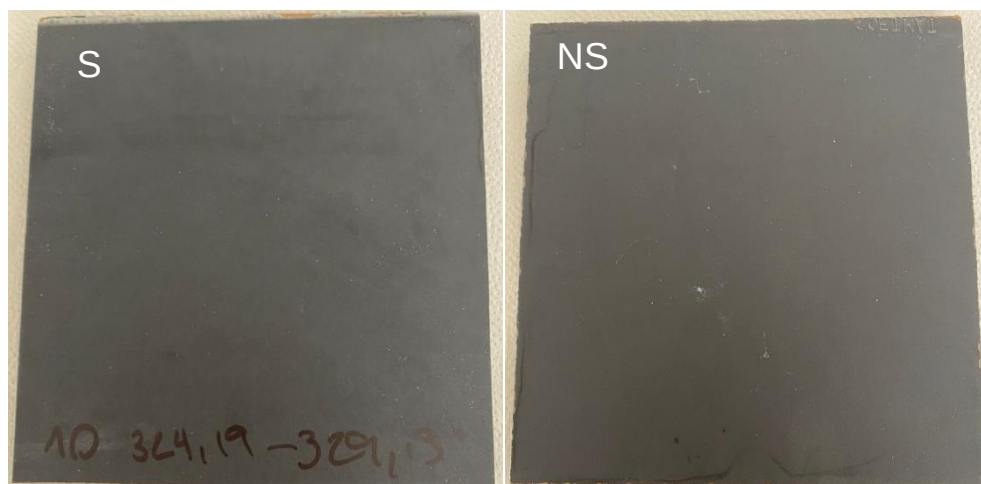


Figura 38- Resultado amostra REF: Ensaio da resistência à humidade

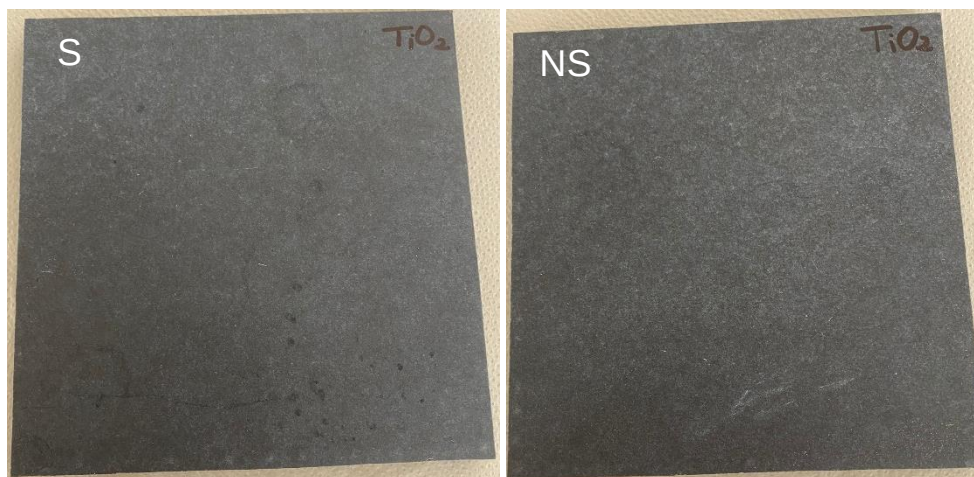


Figura 39- Resultado amostra TiO_2 : Ensaio da resistência à humidade

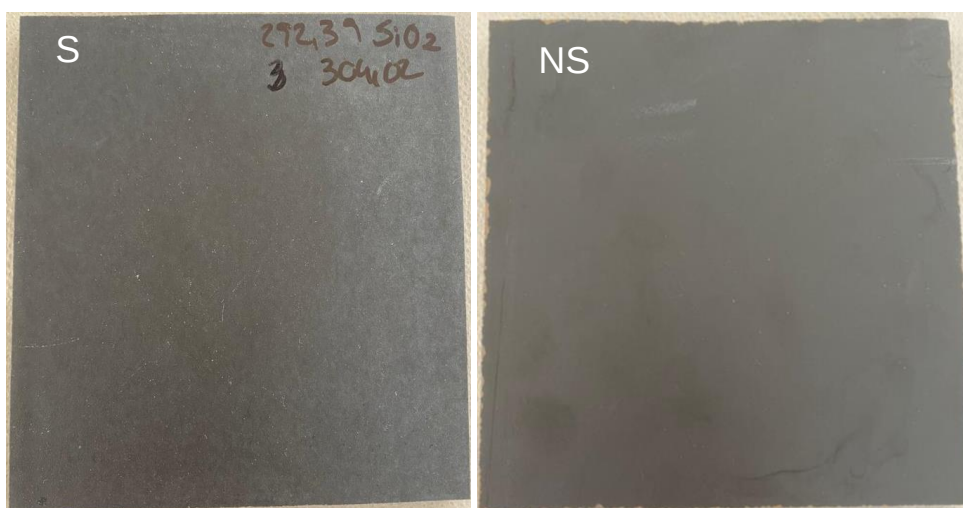


Figura 40- Resultado amostra SiO_2 : Ensaio da resistência à humidade

Os resultados demonstram que houve uma perda de brilho em todas as amostras após serem submetidas ao ensaio da resistência à humidade. Contudo, na amostra SiO_2 , para além da perda moderada de brilho, houve zonas onde a cor ficou mais esbranquiçada. Desta forma, de acordo com a escala de avaliação, a amostra com SiO_2 apresenta nível 3 (mudanças moderadas no brilho e/ou cor) e as restantes duas (REF e TiO_2) nível 4- ligeira mudança no brilho, apenas detetável em certos ângulos. De acordo com a escala de avaliação, a classificação máxima aceite para este ensaio é 3 e, por isso, todas as amostras cumprem o valor máximo requerido.

4.4. ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO

4.4.1. RESISTÊNCIA À LUZ UV

O ensaio da resistência à luz UV consiste na simulação da degradação da superfície por exposição a altos níveis de radiação UV e humidade. Neste ensaio, para além de se avaliar visualmente as amostras após serem submetidas ao ensaio, mediu-se também a cor e o brilho antes e depois das 250h de exposição.

Após as amostras serem retiradas da câmara climática, analisou-se visualmente a superfície das amostras submetidas ao ensaio. Após inspeção visual, foi realizada uma avaliação de acordo com a seguinte escala:

- Nível 1: Delaminação ou bolhas
- Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
- Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
- Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
- Nível 5: sem mudanças visíveis

Nas figuras 41, 42 e 43 estão representadas as amostras (REF, TiO₂ e SiO₂) submetidas (S) e não submetidas ao ensaio (NS).



Figura 41- Resultado amostra REF: Ensaio da resistência à luz UV



Figura 42- Resultado amostra TiO_2 : Ensaio da resistência à luz UV



Figura 43- Resultado amostra SiO_2 : Ensaio da resistência à luz UV

Pela análise das figuras 41, 42 e 43, é possível verificar que a superfície dos compactos sofreu grandes alterações após estas serem submetidas aos altos níveis de radiação UV e humidade. Pela escala de avaliação, o nível da amostra de referência é 2, uma vez que apresenta mudanças notáveis no brilho e na cor. Já a amostra TiO_2 apresenta um nível de 3, uma vez que apresenta mudanças moderadas no brilho e na cor. Por fim, a amostra com nanopartículas SiO_2 , pela escala de avaliação, apresenta um nível de 2 (mudanças notáveis no brilho e na cor).

O valor máximo aceite para este ensaio é 4. Desta forma, nenhuma das amostras cumpre o valor requerido.

De seguida, irão ser apresentados os resultados da refletância solar, cor e emissividade nas amostras antes e depois do ensaio da resistência à luz UV.

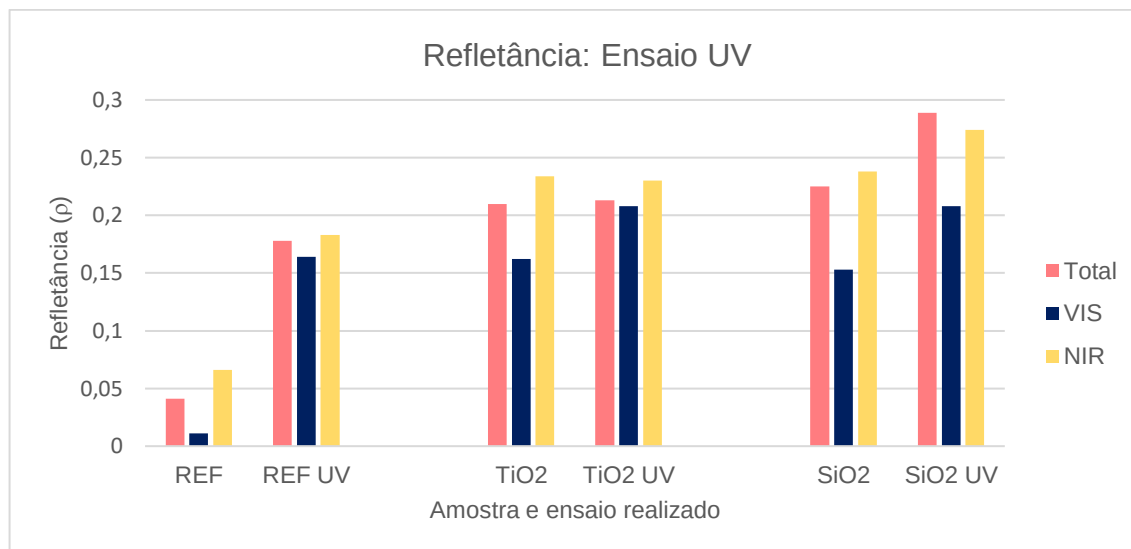


Figura 44- Valores de refletância: Antes e Após ensaio da resistência à luz UV

Pela análise da figura 44, a refletância (total, VIS e NIR) aumentou nas três amostras, à exceção da refletância no NIR na amostra com TiO_2 que diminuiu. Esta diminuição é, no entanto, muito reduzida e, por isso, não é significativa. Estes aumentos do valor da refletância eram de esperar, uma vez que, o tom da superfície de todas as amostras, após a exposição aos altos níveis de radiação UV e humidade, tornou-se mais esbranquiçado.

De seguida, ainda dentro das amostras que foram expostas ao ensaio da resistência à luz UV, irão ser apresentados os valores da variação da cor. Para cada uma das amostras, foi feito uma comparação com a amostra que não sofreu qualquer tipo de agressão.

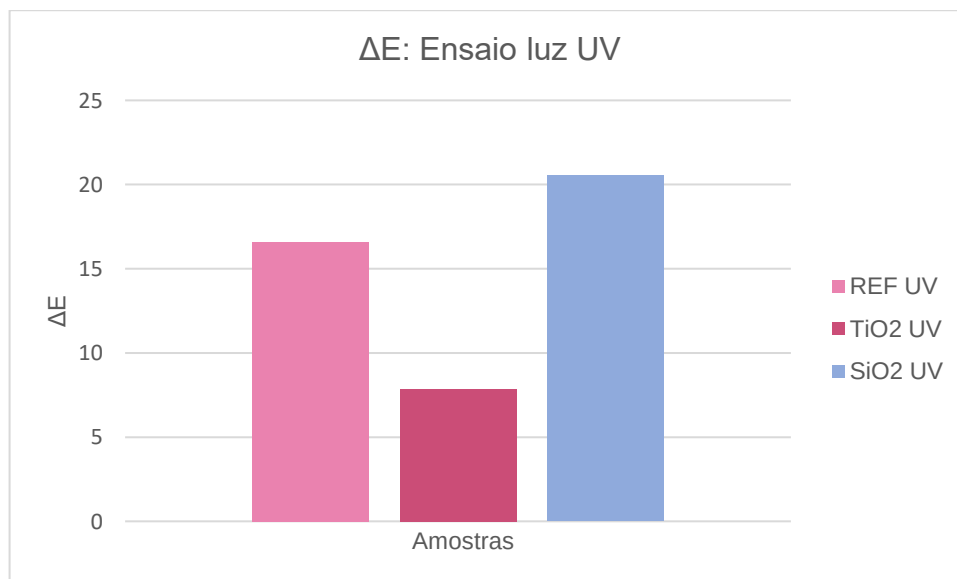


Figura 45- Valores variação da cor: Antes e Após ensaio da resistência à luz UV

A amostra TiO_2 , quando comparada com as restantes duas, apresenta o menor valor de variação da cor. Este resultado pode estar relacionado com o facto de esta amostra já apresentar uma cor mais esbranquiçada logo após a colocação da nanopartícula (antes dos ensaios). No entanto, este valor é maior que 3, logo a amostra TiO_2 não cumpre o valor máximo permitido. Por outro lado, como já era expectável pelas figuras 41 e 43, nas amostras de referência e SiO_2 o valor de ΔE é muito maior que 3 e, por isso, não cumprem o valor requerido.

Os valores da emissividade vão ser apresentados de seguida na figura 46.

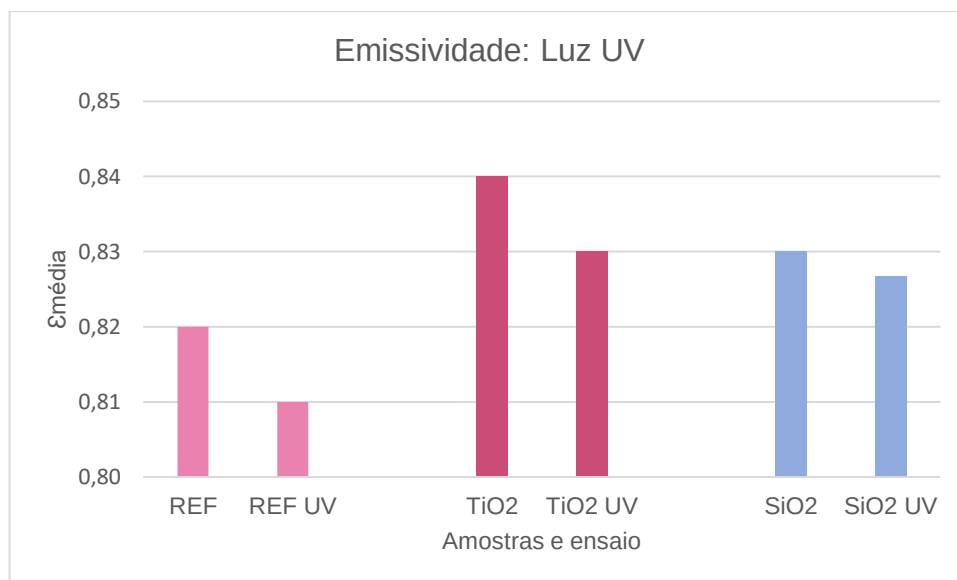


Figura 46- Valores emissividade média: Antes e Após ensaio da resistência à luz UV

Os resultados da emissividade são semelhantes dentro da mesma amostra, sendo a maior variação de, aproximadamente, 1%. Esta variação ocorre no compacto de referência e no que contém nanopartículas de TiO_2 . No entanto, os valores são muito semelhantes e, por isso, o ensaio da resistência à luz UV não induz qualquer alteração significativa em termos dos valores da emissividade.

4.4.2. RESISTÊNCIA À INTEMPÉRIE ARTIFICIAL

No ensaio da resistência à intempérie artificial, a amostra é exposta à influência da luz do dia, através da simulação feita por uma ou mais lâmpadas de arco xénon e chuva. Neste ensaio mediu-se a cor e o brilho antes das amostras entrarem na camara climática e depois de serem retiradas da mesma, ao final dos 125 ciclos de 2h.

As mudanças visíveis entre a superfície do compacto submetido e do compacto não submetido irão ser avaliadas através da seguinte escala:

- Nível 1: Delaminação ou bolhas
- Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
- Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
- Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
- Nível 5: sem mudanças visíveis

Nas figuras 47, 48 e 49 estão representadas as amostras (REF, TiO_2 e SiO_2) submetidas (S) e não submetidas ao ensaio (NS).

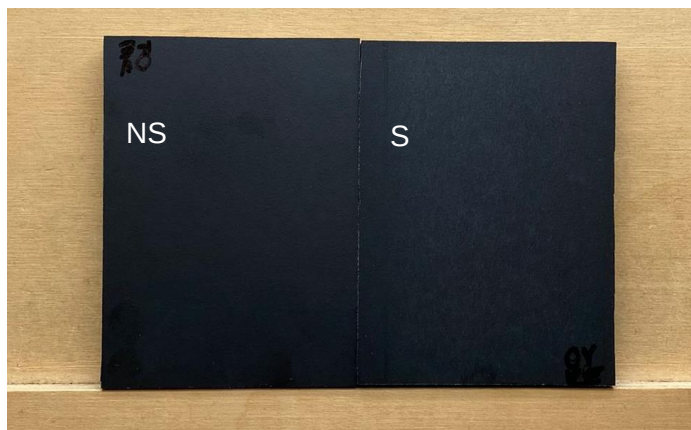


Figura 47- Resultado amostra REF: Ensaio da resistência à intempérie artificial



Figura 48- Resultado amostra TiO_2 : Ensaio da resistência à intempérie artificial

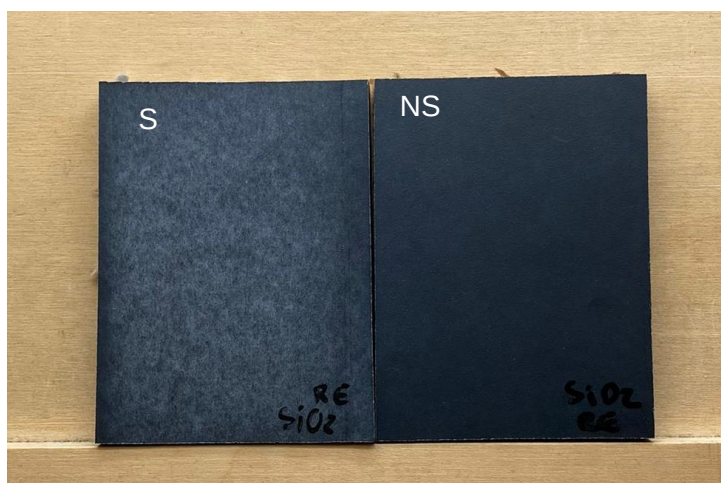


Figura 49- Resultado amostra SiO_2 : Ensaio da resistência à intempérie artificial

Pela análise da figura 47, é possível verificar que a superfície do compacto de referência não modificou, de forma significativa, após ser exposta à influência da luz do dia. Pela escala de avaliação, o nível de degradação da amostra de referência é 4, uma vez que apresenta ligeira mudança no brilho e cor, apenas detetável em certos ângulos.

As figuras 48 e 49 demonstram que os compactos com nanopartículas, TiO_2 e SiO_2 , sofreram grandes alterações após o ensaio da resistência à intempérie artificial. Pela escala de avaliação, o nível de alteração das amostras é de 2 (mudanças notáveis no brilho e na cor).

De acordo com a escala de avaliação, a classificação máxima aceite para este ensaio é 4. Desta forma, apenas a amostra de referência cumpre o valor máximo permitido.

De seguida, irão ser apresentados os valores da refletância solar, cor e emissividade das amostras antes e depois do ensaio da resistência à intempérie artificial.

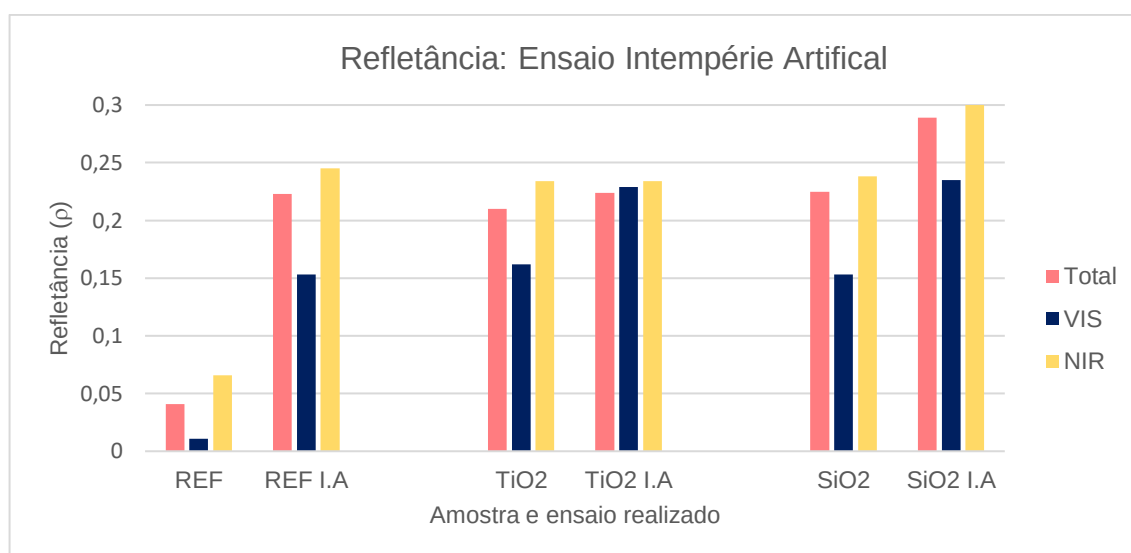


Figura 50-Valores de refletância: Antes e Após ensaio da resistência à intempérie artificial

Os resultados demonstram que, tal como aconteceu no ensaio da resistência à luz UV, os valores da refletância total, na região VIS e na região NIR, aumentaram após o ensaio da resistência à intempérie artificial. É importante salientar que este resultado era de esperar uma vez que o tom da superfície de todas as amostras tornou-se mais esbranquiçado após o ensaio.

Com o intuito de perceber qual os efeitos da influência da luz do dia na variação da cor das amostras, irão ser apresentados a seguir os valores da variação da cor nas três amostras em estudo.

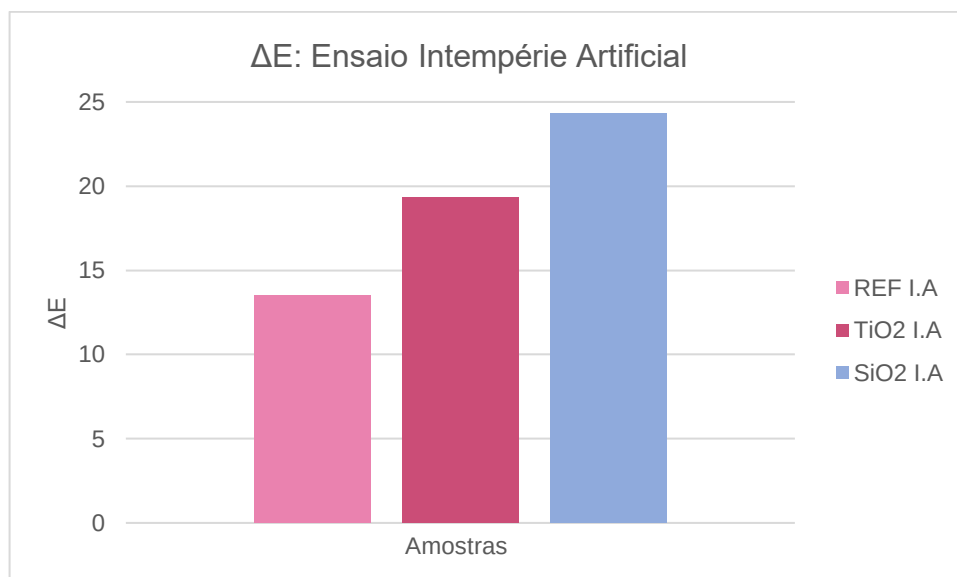


Figura 51-Valores variação da cor: Antes e Após ensaio da resistência à intempérie artificial

Pela análise da figura 51, todas as amostras apresentam um valor de variação de cor superior ao limite máximo (3). As amostras com nanopartículas apresentam valores muito elevados quando comparados com o valor limite. No entanto, a amostra com nanopartículas SiO_2 é a que apresenta maior grau de alteração da cor, tal como ocorreu no ensaio da resistência à luz UV.

Os valores relativos à medição da emissividade vão ser apresentados de seguida na figura 52.

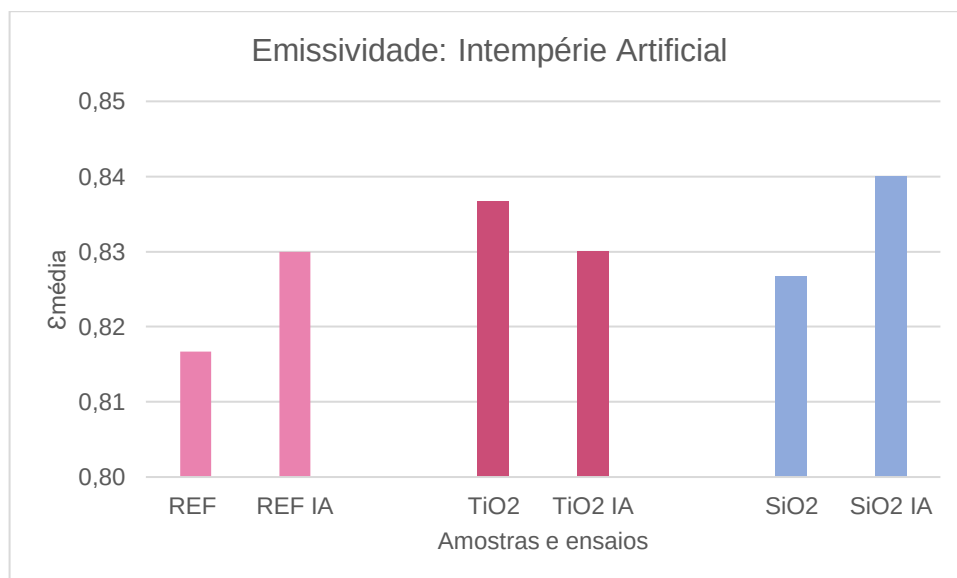


Figura 52- Valores emissividade média: Antes e Após ensaio da resistência à intempérie artificial

Tal como no ensaio da resistência à luz UV, os valores da emissividade são idênticos dentro do mesmo tipo de amostra e entre as diferentes amostras. Desta forma, o ensaio da resistência à intempérie artificial não provoca alterações significativas em termos dos valores da emissividade.

4.4.3. RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO

No ensaio da resistência ao choque térmico as amostras são submetidas em primeiro lugar a ciclos de mudanças de temperatura e humidade relativa e depois ao ensaio da resistência à flexão.

As amostras, como nos restantes ensaios de envelhecimento, são avaliadas visualmente após o término do ensaio. As alterações entre o compacto submetido e o compacto não submetido são avaliadas através da seguinte escala:

- Nível 1: Delaminação ou bolhas
- Nível 2: mudanças notáveis no brilho e/ou cor
- Nível 3: mudanças moderadas no brilho e/ou cor
- Nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos
- Nível 5: sem mudanças visíveis

Na figura 53 estão presentes seis amostras, duas de cada tipo de compacto: REF, TiO_2 e SiO_2 . Dentro das duas amostras de cada tipo de compacto, uma foi colocada dentro da câmara climática e outra foi utilizada para referência. As amostras estão legendadas com o tipo (REF, TiO_2 e SiO_2) e se foram ou não submetidas aos ciclos de mudança de temperatura e humidade relativa: S- submetidas e NS- não submetidas.



Figura 53- Resultados: Após ensaio da resistência ao choque térmico

Na figura 53 estão rodeadas, em cada uma das amostras submetidas, as alterações mais visíveis na superfície dos compactos após estes saírem da câmara climática. Em todas as amostras as mudanças

foram poucas e, por isso, de acordo com a escala de avaliação, todas apresentam nível 4: ligeira mudança no brilho e/ou cor, apenas detetável em certos ângulos.

De acordo com a escala de avaliação, a classificação máxima aceite para este ensaio é 4. Desta forma, todas as amostras cumprem o valor requerido.

De seguida irão ser apresentados os valores da carga de rotura (força máxima), do módulo de elasticidade e do módulo de rotura de cada uma das amostras antes e após sofrerem alterações devido à exposição aos ciclos de mudanças de temperatura e humidade relativa.

Tabela 24- Resultados: Ensaio da resistência à flexão

Momento de ensaio	Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Carga de rotura "F _{máx} " (N)	Módulo de elasticidade	Módulo de rotura
Antes-Choque térmico	REF	49,48	10,30	2526,36	12300	144,38
	TiO ₂	49,90	10,28	1804,61	9520	102,66
	SiO ₂	50,80	9,70	1902,28	1060	119,40
Após-Choque térmico	REF	50,00	10,28	2601,13	11400	147,48
	TiO ₂	51,47	10,30	2267,67	7830	124,59
	SiO ₂	51,15	9,75	2382,67	9290	147,00

As amostras, após o ensaio, perderam elasticidade e aumentaram o módulo de rotura e a carga de rotura. Habitualmente, a força máxima de rotura diminui após a exposição aos ciclos de mudança de temperatura e humidade. Neste caso, como tal não ocorreu, é provável que, no processo de prensagem, a cura das amostras não tenha sido totalmente realizada. Por esse motivo, as amostras, após o ensaio, endureceram e ficaram mais rijas e consequentemente mais difíceis de romper.

De seguida, irão ser apresentados os resultados da refletância solar, cor e emissividade das amostras antes e depois do ensaio da resistência ao choque térmico.

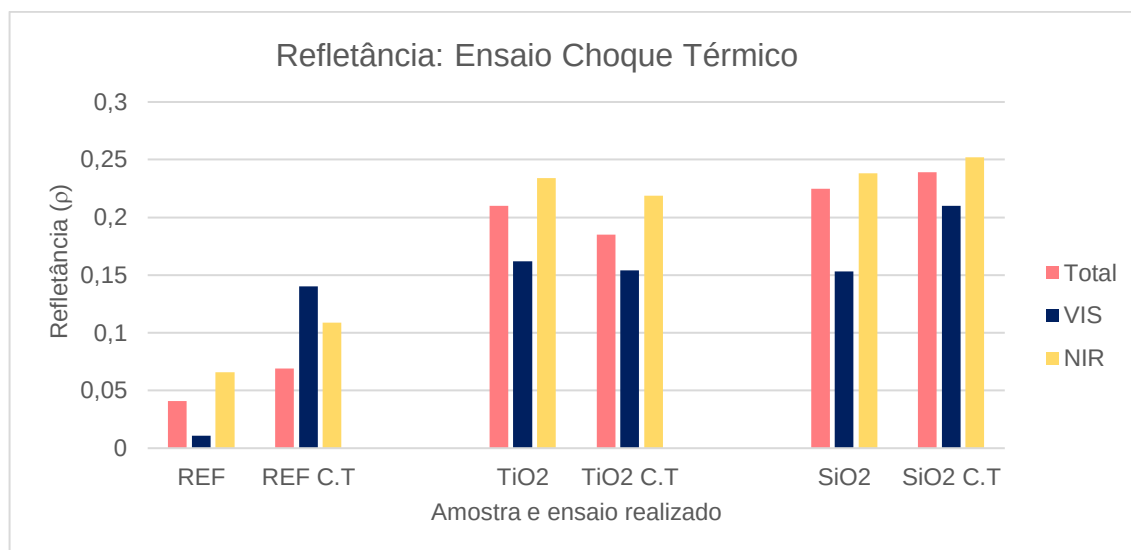


Figura 54-Valores de refletância: Antes e Após ensaio da resistência ao choque térmico

Pela análise da figura 54, os valores da refletância (total, VIS e NIR) na amostra com TiO₂ diminuem após a realização do ensaio. Nas restantes duas amostras acontece o inverso, isto é, há um aumento na refletância total, na região do VIS e na região NIR. No entanto, os valores da diminuição presente na amostra com TiO₂ como no aumento na amostra SiO₂, não são significativos, quando comparados com os valores dos restantes ensaios de envelhecimento. Este resultado era esperado, uma vez que, no presente ensaio, as amostras não ficaram tão esbranquiçadas.

Na figura 55 irão ser apresentados os valores da variação da cor das amostras após o ensaio do choque térmico.

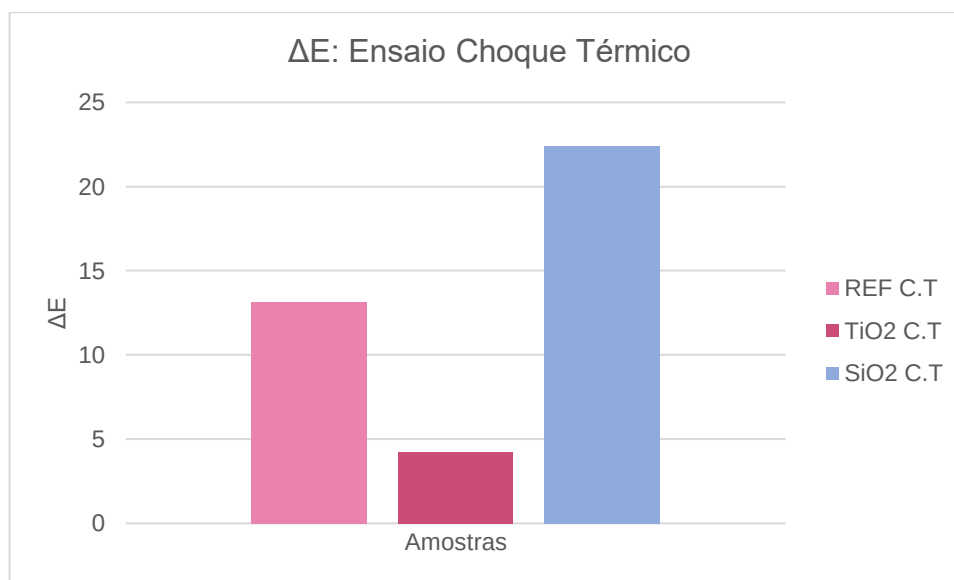


Figura 55-Valores variação da cor: Antes e Após ensaio da resistência ao choque térmico

Os resultados demonstram que os valores das três amostras são superiores ao valor máximo admitido (3). A amostra TiO₂ apresentou um valor baixo quando comparada com as restantes, no entanto, como

referido, superior ao permitido. Como nos restantes ensaios, a amostra de SiO₂ é a que apresenta piores resultados neste parâmetro.

De seguida, irão ser apresentados os valores da emissividade antes e após os ciclos de mudança de temperatura e humidade relativa.

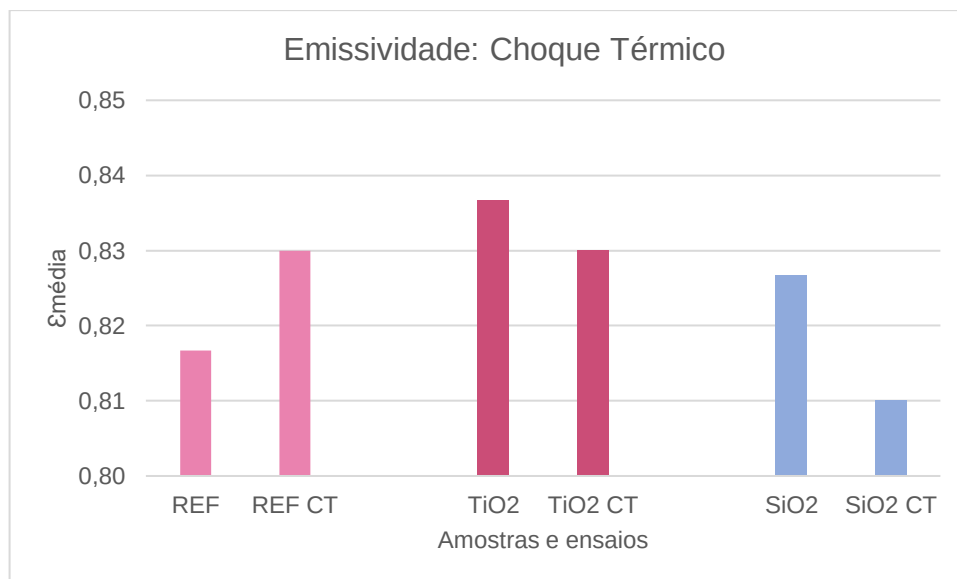


Figura 56- Valores emissividade média: Antes e Após ensaio da resistência ao choque térmico

Pela figura 56 é possível analisar que os valores da emissividade são idênticos dentro do mesmo tipo de amostra e entre as diferentes amostras. O ensaio da resistência ao choque térmico, à semelhança dos restantes, não provoca alterações significativas em termos de valores da emissividade.

4.5. COMPORTAMENTO GLOBAL DOS COMPACTOS

Depois de feita a análise objetiva dos resultados, foi necessário fazer uma reflexão sobre o comportamento global dos compactos relativamente às solicitações aplicadas nos diferentes ensaios efetuados. Como o principal objetivo deste trabalho é perceber se os compactos HPL com nanopartículas apresentam características e propriedades que os permitam ser aplicados no exterior, sem haver grandes estragos nos mesmos e sem comprometer o comportamento do edifício, foi feita uma discussão sobre as causas prováveis para os comportamentos observados. Os principais ensaios realizados neste trabalho que estudam a possibilidade de aplicação dos compactos no exterior são os de envelhecimento. Desta forma, estudou-se o comportamento global de cada tipo de compacto após esses ensaios. De seguida irão ser apresentados os valores da refletância de forma separada, de acordo com:

- Refletância total
- Refletância NIR
- Refletância VIS

Neste trabalho, o parâmetro da refletância foi dos mais importantes, uma vez que, quando há um incremento do valor deste parâmetro a durabilidade dos sistemas de fachada aumenta. A escolha da cor também influencia de certa forma a durabilidade sendo que, quanto mais escuro o tom, menor a refletância de um produto.

Os valores da refletância total para cada tipo de compacto após os ensaios de envelhecimento irão ser apresentados na figura 57.

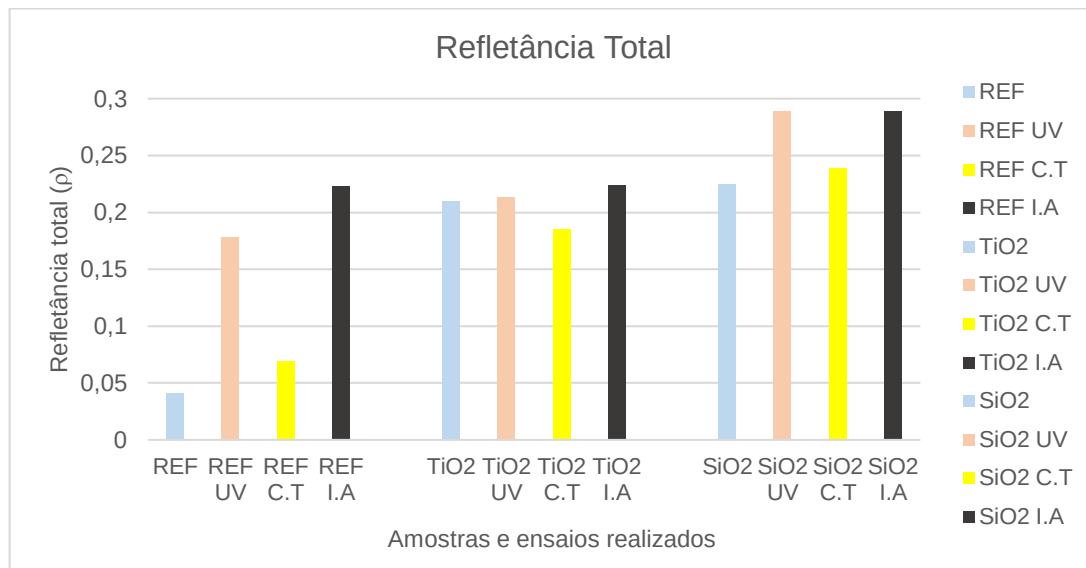


Figura 57- Valores refletância total: Antes e Após ensaios de envelhecimento

O valor da refletância total solar engloba a radiação na região VIS e na região NIR. Pela análise da figura 57, é possível observar que houve um aumento da refletância total quando se adicionou as nanopartículas no papel overlay do compacto (barras a azul).

Relativamente aos compactos com nanopartículas, o que apresenta maiores valores de refletância total é o compacto com SiO₂. Assim, a nanopartícula SiO₂, de uma forma geral, apresenta melhores resultados que a nanopartícula TiO₂. De seguida irão ser apresentados os valores de refletância no NIR para perceber melhor o comportamento dos compactos com a presença das nanopartículas.

Verifica-se o maior incremento do valor de refletância total no ensaio da resistência à intempérie artificial e, o menor, no ensaio da resistência ao choque. Este resultado era espetável, porque o ensaio da intempérie artificial foi o que provocou uma maior diferença de tonalidade na cor da amostra (mais esbranquiçada). No entanto, estes resultados (aumento e diminuição de valores da refletância total) também se verificaram no compacto de referência. Desta forma, como houve um incremento do valor da refletância total do compacto REF após os ensaios, o problema do grande aumento deste valor, em todos os compactos, pode estar relacionado com a composição do compacto e não com a presença de nanopartículas.

De seguida, irão ser apresentados os valores relativamente à refletância na região NIR para estudar o efeito global da introdução das nanopartículas.

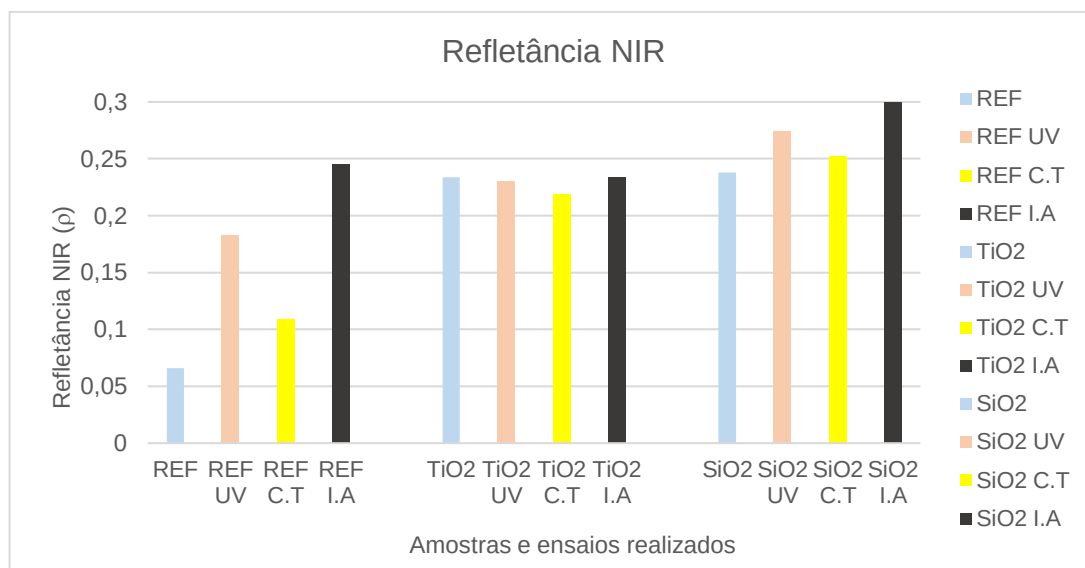


Figura 58- Valores refletância na região NIR: Antes e Após ensaios de envelhecimento

Como referido anteriormente, parte da luz solar que atinge a superfície de um edifício é absorvida pelos edifícios e, consequentemente, há um incremento da temperatura do mesmo. Estudos provam que a utilização de nanomateriais em revestimentos com cores escuras, induz a capacidade de os mesmos aumentarem a refletância. Desta forma, esta melhoria do comportamento dos revestimentos torna-se um fator decisivo para a redução da temperatura superficial e necessidades de arrefecimento dos edifícios [4]. Através da análise das barras em azul (amostras antes de sofrerem qualquer tipo de agressão) da figura 58, comprova-se que a introdução das nanopartículas, como era de esperar, aumenta a refletância na região NIR e que não há grande diferença nos valores das duas amostras com nanopartículas.

O compacto sem nanopartículas (REF) sofreu grandes alterações nos valores da refletância no NIR após os ensaios da resistência à luz UV e resistência à intempérie artificial. Desta forma, tal como aconteceu nos valores da refletância total, o problema do aumento do valor da refletância no NIR, após os ensaios, deve estar relacionado com a composição do compacto e não com a presença de nanopartículas.

As figuras 59 e 60 apresentam, respetivamente, os valores da refletância na região VIS e do brilho das amostras, de forma a fazer uma comparação entre estes dois parâmetros e perceber se há ou não uma relação entre os mesmos.

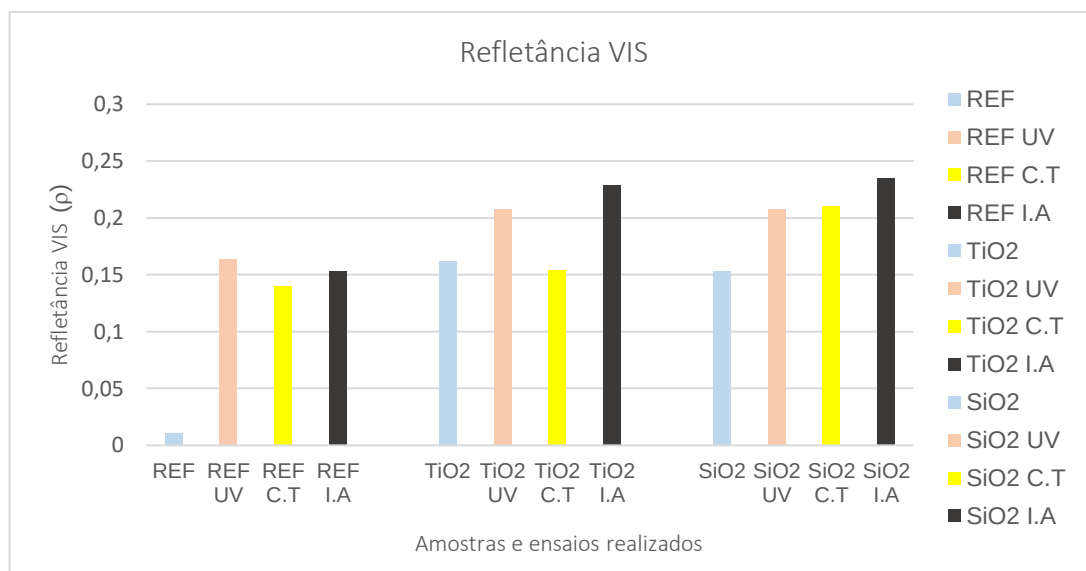


Figura 59- Valores refletância na região VIS: Antes e Após ensaios de envelhecimento

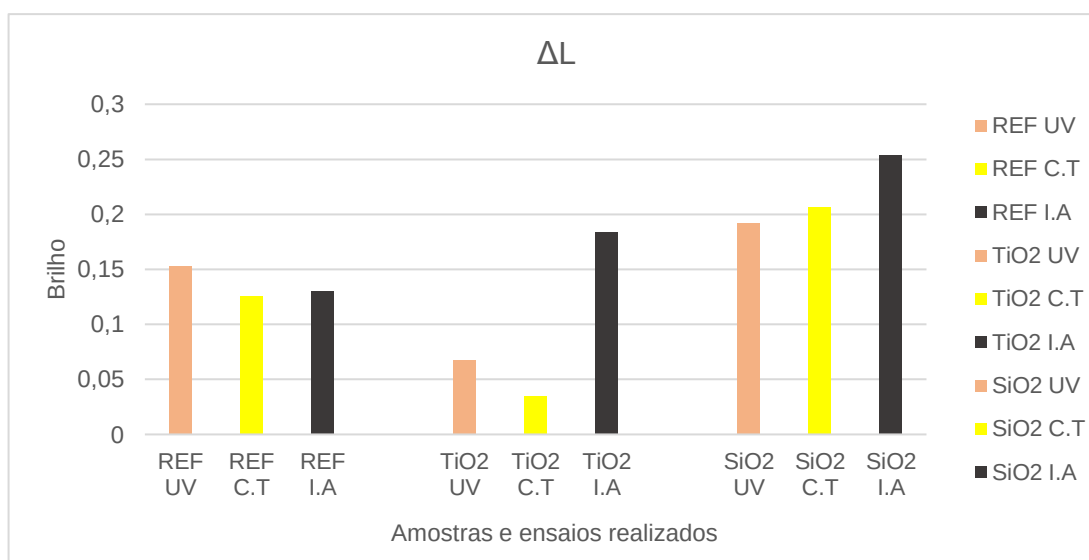


Figura 60- Valores ΔL Antes e Após ensaios de envelhecimento

Pela análise das figuras 59 e 60, é possível verificar que, em todas as amostras, quanto maior o valor da variação do brilho, maior a refletância na região VIS. Esta relação era de esperar pois quanto mais clara (mais brilho) for a amostra, maior vai ser o valor da refletância na região VIS, uma vez que a refletância altera de acordo com a tonalidade das amostras. Mais uma vez, como houve diferenças no brilho das amostras de referência após a realização dos três ensaios de envelhecimento então a composição do compacto “tradicional” pode não ser a melhor para este ser aplicado no exterior. Desta forma, para comprovar a ideia anterior, foi feita uma pesquisa com foco nos compactos aplicados atualmente no exterior.

Como referido anteriormente, os HPL são normalmente aplicados no interior e estão a ser estudados para terem uma maior aplicação no exterior. No entanto, os que têm vindo a ser aplicados no exterior

apresentam alguns problemas ao nível da durabilidade. Foi estudado e percebeu-se que em Portugal, os antigos compactos aplicados no exterior apresentavam problemas com os materiais que os constituíam, isto é, o papel kraft, o decorativo e o overlay apresentam problemas quando em contacto com o ambiente exterior. A tabela 25 apresenta algumas mudanças feitas, pela empresa Trespa, nos compactos aplicados no exterior [22].

Tabela 25- Mudanças dos materiais de um compacto tradicional para um compacto mais recente

Compacto tradicional	Compacto recente
Papel kraft	Microfibras de madeira
↓	↓
Fibras orientadas num único sentido	Tecnologia <i>Dry-forming</i> : Microfibras de madeira envolvidas com resina fenólica
↓	↓
Dilatação não uniforme	Dilatação uniforme
↓	↓
Degradação dos compactos	Diminui fissuras no painel e possível degradação
Papel decorativo e overlay	Papel decorativo e overlay
↓	↓
Impregnados com resina melamínica	Impregnados com resina acrílo-poliuretana através da tecnologia EBC
↓	↓
Superfície porosa	Superfície pouco porosa
↓	↓
Absorve mais facilmente sujidade	Permite maior resistência às diversas condições climáticas
↓	↓
Perde cor com mais facilidade e pode contribuir para a aceleração do processo de degradação	Maior durabilidade do compacto

Através das modificações presentes na tabela 25, é possível verificar que houve uma evolução no processo de fabrico dos compactos por parte das empresas. Os painéis tradicionais apresentam problemas com o núcleo em papel kraft, pois este em contacto com a água aumenta de espessura e proporciona uma degradação mais rápida do compacto. Ainda dentro do papel kraft, as fibras deste são orientadas no sentido longitudinal e provocam dilatação num só sentido, ou seja, não uniforme/homogénea. A superfície dos painéis tradicionais apresenta problemas devido à resina com que o papel decorativo e overlay são impregnados. A resina melamínica transforma a superfície numa superfície porosa, que absorve grande sujidade e poeiras que contribuem para a perda de cor dos compactos e degradação dos mesmos.

A coluna “compacto recente” da tabela 25 apresenta as modificações feitas pela empresa Trespá. O fabricante Trespá, utiliza a tecnologia Dry-forming para produzir o núcleo dos compactos. Esta tecnologia consiste em envolver microfibras de madeira com resina fenólica e permite que a dilatação dos compactos seja uniforme e, consequente, diminuir o aparecimento de fissuras. Na superfície, a tecnologia utilizada é apresentada como EBC- Electron Beam Curing (endurecimento por descarga de eletrões) e consiste em curar a resina acrílo-poliuretana pigmentada através de uma descarga de eletrões. Esta descarga reticula molecularmente a resina transformando a superfície numa superfície de poro fechada e, por isso, resistente aos agentes atmosféricos.

5

CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES FINAIS

O setor da construção tem vindo a procurar novos produtos com maior qualidade e potencial para aumentar a eficiência dos edifícios. As empresas começaram a incorporar novos materiais com a capacidade de melhorar a durabilidade e sustentabilidade dos edificadados. Dessa forma, no decorrer deste projeto procedeu-se ao desenvolvimento da possibilidade de aplicação de termolaminados de alta pressão (HPL) com nanopartículas na sua constituição na fachada do edifício. Para este trabalho, realizou-se diversas pesquisas e estudos que comprovem a fiabilidade da introdução das nanopartículas de dióxido de titânio (TiO_2) e dióxido de silício (SiO_2) nos HPL e quais as respetivas vantagens das mesmas, sempre com o cuidado de não alterar a cor do revestimento, ao nível da refletância e da durabilidade do material.

As principais conclusões retiradas desta dissertação, estão apresentadas de seguida.

Estado de arte e fundamentos:

- Os HPL apresentam uma grande versatilidade, numa elevada série de cores e padrões.
- Os termolaminados de alta pressão apresentam uma vasta gama de aplicações no interior e começaram a ser aplicados recentemente no exterior do edifício.
- Existem dois tipos de HPL: “laminados” e “compactos”. Normalmente, os de exterior são quase sempre compactos.
- Os ensaios que diferem um compacto aplicado no exterior de um aplicado no interior, isto é, que estudam a possibilidade de aplicação de um compacto no exterior são os três ensaios de envelhecimento estudados - resistência à luz UV, resistência à intempérie artificial e resistência ao choque térmico-, e o ensaio de qualidade da resistência à humidade.
- A evolução da aplicação dos nanomateriais na indústria da construção é notória, uma vez que estes, apresentam características possíveis de aumentar a eficiência e durabilidade do edifício.

Fase experimental antes dos ensaios de qualidade e envelhecimento:

- Após a aplicação das nanopartículas no papel overlay, verificou-se que as nanopartículas TiO_2 não dispersam bem na água. Desta forma, o compacto com TiO_2 é menos homogéneo e pior esteticamente do que o compacto SiO_2 .
- A medição das propriedades superficiais avaliadas, antes da realização dos ensaios, apresentou que a incorporação de nanopartículas nos compactos aumenta a refletância dos mesmos. As duas amostras apresentem valores similares, mas, no entanto, o valor de refletância na região NIR é superior na amostra com SiO_2 .
- Em relação à cor, numa fase inicial, a amostra com TiO_2 , devido à reduzida dispersão das nanopartículas e consequente alteração estética, apresentou um valor de alteração de cor muito

elevado (60-70) e muito superior ao limite (3). No entanto, embora essa mudança do aspeto visual não fosse tão notória na amostra com SiO_2 , esta também apresentou um valor de alteração de cor (10-20) superior ao esperado.

- Ainda dentro das medições das propriedades superficiais na fase antes dos ensaios, comprovou-se que a presença de nanopartículas não tem impacto no valor da emissividade.

Fase experimental após os ensaios de qualidade e envelhecimento:

- Relativamente ao leque dos ensaios de qualidade realizados, todas as amostras (referência, com TiO_2 e com SiO_2) apresentaram bons resultados, à exceção das amostras com TiO_2 e com SiO_2 , no ensaio da resistência à humidade, onde o limite máximo estabelecido para a absorção de humidade é de 3 % e estas amostras apresentaram valores superiores.
- Ensaios de envelhecimento:
 - Após os ensaios de envelhecimento a superfície de todos os compactos sofreu alterações notórias, ao nível do brilho e da cor.
 - Ao nível da refletância, houve um aumento da mesma, em praticamente todas as amostras, uma vez que a superfície das amostras, após o término dos ensaios, ficou mais esbranquiçada.
 - Houve uma grande alteração da cor após os ensaios de envelhecimento.
 - Relativamente à emissividade não houve alterações significativas nos valores das amostras antes e depois dos ensaios.
 - Dos três ensaios de envelhecimento, o que agrediu menos a superfície das amostras foi o do choque térmico. No entanto nesse mesmo ensaio, a força máxima de rotura, no ensaio da flexão aumentou após as amostras serem submetidas aos ciclos de mudanças de temperatura e humidade relativa. Desta forma, conclui-se que as amostras não ficaram bem curadas no processo de prensagem e, por isso, na estufa ficaram mais rijas e consequentemente mais difíceis de romper.
- Comportamento global dos compactos:
 - O ensaio que provocou maior incremento no valor da refletância total foi o da resistência à intempérie artificial. De certa forma, este resultado já era de esperar, uma vez que, foi neste ensaio que se verificou a maior diferença de tonalidades nas amostras antes e depois do ensaio.
 - A correlação dos valores da refletância na região VIS e do brilho das amostras, demonstrou que estes dois valores estão relacionados. Isto é, neste caso, quanto maior o brilho, mais clara a amostra e maior o valor refletância na região VIS.
 - Ao longo do trabalho verificou-se que o compacto de referência sofreu alterações após os ensaios de envelhecimento. Logo, suspeitou-se que a composição do compacto tradicional pudesse conduzir a problemas relacionados com a sua durabilidade, quando aplicado no exterior. Através da pesquisa sobre o comportamento dos compactos tradicionais no exterior, conclui-se que estes apresentavam problemas com os materiais que os constituíam, isto é, o núcleo em papel kraft, o papel decorativo e o papel overlay. No entanto, estes compactos já foram alterados por algumas empresas. Alguns dos compactos mais recentes são constituídos por microfibras de madeira ao invés de papel kraft, o que permite uma dilatação uniforme das fibras e posterior não degradação dos compactos. O papel decorativo e o papel overlay são impregnados com resina acrílico-poliuretana que torna o poro mais fechado e consequentemente não permite a penetração da sujidade. Outra alteração, que tem sido estudada, para melhorar o

comportamento do compacto quando aplicado no exterior é aplicar, à superfície, uma película adicional de proteção UV cuja função é conferir ao compacto uma maior resistência à luz UV.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

De maneira a contribuir para a evolução de novos revestimentos para sistemas de fachadas, devem ser efetuados novos estudos relacionados com este tema, de forma a atingir soluções mais sustentáveis e duráveis, do que as atuais. Neste caso, para os compactos HPL, serão referidos aspetos a ter em conta em futuros projetos:

- Realizar novos estudos com o intuito de dar a conhecer melhor este material sobre o desempenho do mesmo, em situações de laboratório ou reais (em obra).
- Realizar ensaios de envelhecimento natural, ao invés de ensaios de envelhecimento em laboratório de curta duração, de forma a analisar a variação das propriedades óticas e superficiais.
- Pesquisar e analisar outras tecnologias, que podem mudar o comportamento dos compactos.
- Analisar a incorporação, com diferentes percentagens, de outros tipos de nanopartículas. A incorporação pode ser testada em diferentes locais do compacto, como em resinas ou mesmo diretamente no papel decorativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Surforma, «Empresa». <https://www.surforma.com/pt/empresa/> (acedido 9 de Fevereiro de 2023).
- [2] Surforma, «HPL | Produtos». <https://www.surforma.com/pt/produtos/hpl/> (acedido 9 de Fevereiro de 2023).
- [3] S.A de Carvalho Ferreira Real, «Contributo da análise dos custos do ciclo de vida para projectar a sustentabilidade na construção», Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010.
- [4] R.C.Veloso, A.Souza, J.Maia, e N.M.M. Ramos and J.Ventura, «Nanomaterials with high solar reflectance as an emerging path towards energy-efficient envelope systems: a review», *J Mater Sci*, vol. 56, n. 36, pp. 19791–49, Dez. 2021.
- [5] EN 438-2, «High-pressure decorative laminates - Sheets based on thermosetting resins - Part 2: Determination of properties.», 2016.
- [6] S.Magina, J.Ferra, P.Cruz, H.I.S.Nogueira, I. Portugal, e D.V. Evtuguin, «Fluorinated polyhedral oligomeric silsesquioxane nanoparticles to boost the dirt repellence of high pressure laminates», *Chemical Engineering Journal*, vol. 301, pp. 362–370, Out. 2016.
- [7] A.S.M. Henriques, «Development of new resins and characterization techniques for laminates», Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2018.
- [8] Surforma, «Compacts». <https://www.surforma.com/pt/downloads/> (acedido 4 de Abril de 2023).
- [9] L.Pilato, *Phenolic resins: A century of progress*, 1.^a ed., vol. 1. Springer Berlin, Heidelberg, 2010.
- [10] EN 438-1, «High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates) - Part 1: Introduction and general information», 2016.
- [11] EN 438-3, «High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates) - Part 3: Classification and specifications for laminates less than 2 mm thick intended for bonding to supporting substrates», pp. 1–16, 2016.
- [12] EN 438-4, «High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates) - Part 4: Classification and specifications for compact laminates of thickness 2 mm and greater», pp. 1–12, 2016.
- [13] EN 438-5, «High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates) - Part 5: Classification and specifications for flooring grade laminates less than 2 mm thick intended for bonding to supporting substrates», pp. 1–10, 2016.
- [14] EN 438-6, «High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates) - Part 6: Classification and specifications for Exterior-grade compact laminates of thickness 2 mm and greater», pp. 1–16, 2016.

- [15] EN 438-7, «High-pressure decorative laminates (HPL)- Sheets based on thermosetting resins (Usually called Laminates) - Part 7: Compact laminate and HPL composite panels for internal and external wall and ceiling finishes», pp. 1–32, 2005.
- [16] EN 438-8, «High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based onthermosetting resins (Usually called Laminates) - Part 8:Classification and specifications for design laminates», pp. 1–17, 2009.
- [17] EN 438-9:2010+A1, «High-pressure decorative laminates (HPL) -Sheets based on thermosetting resins (Usually called Laminates) - Part 9: Classification and specifications for alternative core laminates», pp. 1–14, 2013.
- [18] EN 13501-1, «Classificação de incêndio de materiais de construção e elementos estruturais - Parte 1: Classificação usando dados de reação a testes de incêndio».
- [19] Regulamento (UE) N.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, «Jornal Oficial da União Europeia», 2011.
- [20] Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios, «Portaria n.º 135/2020», Jun. 2020.
- [21] Regime jurídico da segurança contra incêndio em edifícios, «Lei n.º 123/2019», Set. 2019.
- [22] P.F. Quental de Albuquerque, «Painéis Fenólicos para aplicação em fachadas exteriores», Dissertação de Mestrado , Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.
- [23] Surforma, «Surforma® Compacts : Compactos standard e anti-fogo». <https://www.surforma.com/pt/downloads/> (acedido 4 de Abril de 2023).
- [24] Trespa, «Ficha Técnica do Produto: Trespa® Meteon®», 2022. www.trespa.info
- [25] «Facade material: HPL panels». <https://www.mwconstruction.group/en/facade-material/HPL-panels> (acedido 10 de Fevereiro de 2023).
- [26] A. Khanna, «High Pressure Laminates: Improper handling woes», *Surfaces Reporter*, pp. 78–80, 2019.
- [27] Trespa, «Trespa® Meteon®: Fachadas Ventiladas», 2022. www.trespa.info
- [28] Cedral, «Ainda não previu a instalação de uma fachada ventilada no seu projeto?», 2020. <https://www.cedral.world/pt-pt/fachadas/blog/50169/vantagens-fachada-ventilada/> (acedido 10 de Março de 2023).
- [29] Trespa, «Trespa® Meteon®: Fixação», 2022. www.trespa.info
- [30] H.L.S. Hens, *Building Physics - Heat, Air and Moisture*, vol. 3. 2014. Acedido: 30 de Março de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://books.google.pt/books/about/Building_Physics_Heat_Air_and_Moisture.html?id=7pd9vgAACAAJ&redir_esc=y
- [31] C.Pereira, D.Marinoski, R.Lamberts, e S.Güths and E.Ghisi, «Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas (v.1)», *CB3E*, pp. 1–23, Mai. 2015, [Em linha]. Disponível em: www.cb3e.ufsc.br

- [32] «Espectro de radiação solar que atinge a superfície da terra». https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-4-Espectro-de-radiacao-solar-que-atinge-a-superficie-da-Terra_fig4_308185915 (acedido 20 de Março de 2023).
- [33] M.R. Costa e Sá, «A Influência dos Pigmentos Refletantes na Temperatura Superficial dos Revestimentos Térmicos», Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2017.
- [34] A.Radu *et al.*, «“Heat, air and moisture transfer terminology: parameters and concepts”», *CIB Publication*, pp. 1–51, Dez. 2012.
- [35] J.T.T. de Sá, «Durabilidade de ETICS com elevada absorção solar», Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2018.
- [36] ASTM E903, «Standard Test Method for Solar Absorptance, Refletance and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres».
- [37] ASTM C1549, «Standard Test Method for Determination of Solar Refletance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer».
- [38] ASTM E1918, «Standard Test Method for Measuring Solar Refletance of Horizontal and Low-sloped Surfaces in the Field».
- [39] ASTM E1918A, «Standard Test Method for Measuring Solar Refletance of Horizontal and Low-sloped Surfaces in the Field».
- [40] ASTM E1980, «Standard Practice for Calculating Solar Refletance Index of Horizontal and Low-sloped Opaque Surfaces».
- [41] K.A. Dornelles, «Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA», Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- [42] Saint-Gobain Weber, «GUIA 2016».
- [43] F.P. Torgal and S.Jalali, «Nanotechnology: Advantages and drawbacks in the field of construction and building materials», *Constr Build Mater*, vol. 25, n. 2, pp. 582–590, Ago. 2011.
- [44] Nano Werk, «Nanoparticles Types, Properties and Uses». Obtido de Nanowerk: https://www.nanowerk.com/what_are_synthetic_nanoparticles.php (acedido 1 de Março de 2023).
- [45] R.C. Modesto, «Os Nanomateriais na Indústria da Construção», Dissertação de Mestrado, Técnico Lisboa, Lisboa, 2017.
- [46] E. S. Cozza, M. Alloisio, A. Comite, G. Di Tanna, e S. Vicini, «NIR-reflecting properties of new paints for energy-efficient buildings», *Solar Energy*, vol. 116, pp. 108–116, Jun. 2015.
- [47] N.M.Ramos, A.R. Souza, J. Maia, e R. M.S.F. Almeida, «Colour degradation of façade coatings - The effect of nanopigments incorporation», *E3S Web of Conferences*, vol. 172, Jun. 2020.

