Caracterização das propriedades superficiais de ETICS com graffiti e sua limpeza

Pedro Clavel Perestrelo Caiado

Dissertação para obtenção do grau de mestre em

Engenharia Civil

Orientadores: Professora Doutora Inês dos Santos Flores Barbosa Colen
Professora Doutora Maria Amélia Alves Rangel Dionísio

Júri

Presidente: Prof. Doutor Jorge Manuel Caliço Lopes de Brito

Orientador: Profª Doutora Maria Amélia Alves Rangel Dionísio

Vogais: Doutor José Santiago Pozo Antonio

e

Profª Doutora Rita Maria Vilela Nogueira

Maio de 2020

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Às professoras Inês Flores-Colen e Amélia Dionísio, minhas orientadoras científicas, pela disponibilidade, pelo compromisso e envolvimento nesta orientação e rigor e precisão na correção de cada capítulo.

Ao Doutor Giovanni Borsoi, pela disponibilidade constante e apoio que me deu para a realização desta dissertação.

Ao Professor Luis Alves, do Laboratório de Tecnologia Mecânica do IST, pela disponibilidade e ajuda do equipamento de ensaio, rugosímetro.

Às empresas CIN, Secil, Weber pela disponibilidade dos provetes de ETICS e à empresa Borges da Silva pela disponibilidade do removedor químico.

A todos os meus amigos, em especial à Family Night, Tribunal, Jantar das Cooperativas e Belenenses Rugby que tornaram este caminho mais fácil e mais divertido de o fazer.

E como um edifício não se aguenta nos momentos mais difíceis sem uma boa fundação, queria agradecer à minha Família, em especial aos meus pais e irmãos pelos ensinamentos e valores que me conseguiram transmitir e me tornaram a pessoa que sou hoje.

Resumo

Os ETICS (sistemas compósitos de isolamento pelo exterior) são sistemas inovadores, que foram inicialmente aplicados com a função de proporcionar melhoria do isolamento térmico, redução das pontes térmicas e assim aumentar a vida útil das paredes. Atualmente, existem ETICS com vários tipos de soluções que incluem não só a melhoria térmica, mas também a acústica e a proteção ao fogo. Nestas soluções, são vários os tipos de acabamento final.

Os graffiti pode sem encontrados frequentemente em edifícios localizados em áreas urbanas. Além de serem uma anomalia estética, quando não autorizados, a sua remoção tem elevados custos e pode induzir a alterações nas propriedades superficiais dos materiais sobre os quais foram aplicados. No caso dos ETICS, essa alteração pode ser crítica para o correto funcionamento do sistema. Atualmente, os processos de remoção mais utilizados são processos químicos e mecânicos.

A presente dissertação apresenta um estudo comparativo da eficácia na remoção de graffiti executados em diferentes tipos de ETICS, utilizando uma estratégia que envolve processos variados, como sejam: escovagem com escova nylon e água fria; escovagem com escova de nylon e água quente; aplicação de um produto químico sob a forma de gel; e jato de água quente. Adicionalmente, pretende-se verificar se houve alterações nas características superficiais dos ETICS após a ação do graffiti e após a sua remoção. Para este estudo foram utilizados 12 ETICS comerciais e dois tipos de tinta de aerossol, comumente utilizados na execução de graffiti.

Os resultados obtidos indicam que a aplicação de graffiti altera as condições superficiais e que existem dificuldades na remoção dos graffiti das superfícies dos ETICS. A simples escovagem com água fria ou quente revelou-se claramente ineficaz. A remoção mecânica com jato de água quente é muito agressiva para as superfícies e revelou-se ser pouco eficaz. No caso da remoção química o resultado também não foi favorável, e poucas foram as superfícies que ficaram com o grau de limpeza desejável. Para além disso, verificou-se que os produtos químicos podem ser prejudiciais para os ETICS se chegarem à camada de isolante (situação que poderá ocorrer caso exista alguma fissuração no sistema). Nesta situação, os ETICS perdem as suas funções iniciais. No que diz respeito às propriedades superficiais, em termos de cor e rugosidade com perfilometro, na maioria das amostras os valores não chegaram aos mínimos satisfatórios. Já no brilho o resultado foi satisfatório em todas as amostras. Na rugosidade pontual a maioria das amostras não alteraram os valores.

Palavras-chave: ETICS; graffiti; limpeza; eficácia; nocividade; propriedades superficiais.

Abstract:

ETICS (External Thermal Insulation Composite System) is an innovative construction system, initially developed to improve the masonry thermal insulation, minimize thermal bridges and therefore increase the lifetime of the building. Several types of ETICS are currently available from thermal improvement, acoustic improvement or fire protection, with numerous types of finishing coats.

In the last decades, buildings have been frequently vandalized by graffiti, forming aesthetic anomalies. Cleaning actions, such as mechanical and chemical methods, are expensive and may induce to chemical and physical damages of the surface properties. These damages can be particularly severe on ETICS, affecting the operativity of the whole system.

The objective of this dissertation is to present a comparative study of the graffiti removal efficiency in different types of ETICS, using different cleaning methods. These methods include harsh brushing with cold water, harsh brushing with warm water, use of a chemical gel and hot water pressure jet. This dissertation aims also at providing an evaluation of the surface properties changes, after the graffiti application and after its removal. In this study, 12 types of commercialized ETICS and two colours of graffiti aerosol paints commonly were used.

Results showed that graffiti can be hardly removed, without causing any damage to the treated surface. The brushing with cold or warn water was ineffective. The mechanical removal with hot water pressure jet was too aggressive to the surface and it was not very effective. The gel removal product was also unsuccessful. Furthermore, these chemical products are harmful to the insulation board if they were any fissure in the system. Significant modifications of the color and the profile roughness were recorded in several samples. On the other hand, gloss values were restored in all samples. Additionally, the texture roughness values did not change in most of the samples.

Keywords: ETICS; graffiti; removal; efficiency; harmfulness; surface properties.

Índice Geral

Agradecimentos i

Resumo iii

Abstract: v

Índice Geral vii

Índice de Tabelas x

Índice de Figuras xii

1 Introdução 1

1.1 Enquadramento 1

1.2 Objetivo 1

1.3 Estrutura e organização da dissertação 2

2 ETICS e graffiti 3

2.1 Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS) 3

2.1.1 Considerações gerais 3

2.1.2 Enquadramento histórico 3

2.1.3 Constituintes do sistema 5

2.1.4 Características de desempenho 6

2.1.5 Vantagens e inconvenientes dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior 8

2.2 Técnicas de limpeza de graffiti 9

2.2.1 Considerações gerais 9

2.2.2 Enquadramento histórico 9

2.2.3 Tipos de tinta de graffiti 11

2.2.4 Técnicas de limpeza de graffiti 11

2.3 Sínteses do capítulo 15

3 Materiais e metodologia experimental 17

3.1 Resumo da metologia aplicada 17

3.2 Materiais 18

3.2.1 Referenciação das amostras 18

3.2.2 Descrição das amostras 19

3.2.3 Tinta de graffiti e aplicação 22

3.3 Metodologia experimental 24
3.3.1 Caracterização inicial 24
3.3.2 Ensaios após aplicação das tintas de graffiti 29
3.3.3 Metodologia de limpeza 29
3.3.4 Ensaios após limpeza 30
3.4 Síntese do capítulo 31
4 Resultados e discussão 33
4.1 Caracterização inicial e após aplicação do *graffiti* 33
4.1.1 Quantidade de tinta de graffiti 33
4.1.2 Avaliação da cor 33
4.1.3 Avaliação do brilho 38
4.1.4 Avaliação da rugosidade (pontual) 40
4.1.5 Avaliação da rugosidade (perfilómetro) 43
4.1.6 Síntese da caracterização inicial 45
4.2 Eficácia e nocividade dos processos de limpeza 47
4.2.1 Considerações gerais 47
4.2.2 Quantificação da área limpa com recurso a análise de imagem 48
4.2.3 Avaliação da cor após as ações de limpeza 51
4.2.4 Avaliação do brilho após ações de limpeza 55
4.2.5 Avaliação da rugosidade pontual após ações de limpeza 57
4.2.6 Análise da rugosidade de perfil após ações de limpeza 59
4.2.7 Síntese dos resultados da aplicação dos processos de limpeza 63
5 Conclusão e desenvolvimentos futuros 67
5.1 Conclusões gerais 67
5.2 Conclusões finais 67
5.3 Desenvolvimentos futuros 69
6 Referências Bibliográficas 70
Anexo - Resultados individuais da campanha experimental A.1
A.1 Digitalização dos perfis das amostras no estado inicial e após limpeza. (imagens 5x5cm) A.2

A.2 Valores médios e desvios padrão de brilho obtidos nas amostras de referência, azuis e prateadas na caracterição inicial A.5

A.3 Valores médios de cor obtidos nas amostras de referência A.6

A.4 Valores médios de cor obtidos nas amostras azuis A.7

A.5 Valores médios de cor obtidos nas amostras prateadas A.8

A.6 Exemplos da evolução das superfícies ao longo das limpezas (imagens 5x5cm) A.9

A.7 Exemplos das superfícies 9G13 e 6G13 binarizadas no GIMP (imagens 5x5cm) .. A.11

A.8 T-teste para hipóteses de igualdade ou com uma diferença insignificativa das médias nas amostras azuis e prateadas e comparação com as amostras de referência A.12

A.9 T-teste para hipóteses de igualdade ou com uma diferença insignificativa das médias nas amostras de referência, azuis e prateadas e comparação com as amostras de referência no estado inicial A.12

A.10 Valores médios e desvios padrão de Ra e Rz na caracterização inicial A.14

A.11 Ensaio de rugosidade (perfilómetro) após a limpeza com removedor químico A.15

A.12 Ensaio de rugosidade (perfilómetro) após a limpeza com jato de água quente A.16

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Síntese dos requisitos essenciais definidos para ETICS e respetivos ensaios segundo a ETAG 004 7

Tabela 3.1 - Descrição dos sistemas de ETICS 1G até 6G de acordo com descrição dos fabricantes. 21

Tabela 3.2 - Descrição dos sistemas 7G até 12G de acordo com descrição dos fabricantes. . 22

Tabela 3.3 – Número total de medições feitas em cada ensaio. 31

Tabela 4.1 - Quantidade de tinta de spray aplicada por área, para todas as amostras..... 33

Tabela 4.2 - Valores médios e respetivos desvios-padrão das coordenadas cromáticas L*, a* e b* e croma (C*) para os diferentes ETICS estudados (amostras de referência). 34

Tabela 4.3 – Variações médias de cor total entre sistemas de ETICS. 35

Tabela 4.4 - Valores médios e respetivos desvios-padrão das coordenadas cromáticas L*, a* e b* e croma (C*), após aplicação das tintas de spray azul para os diferentes tipos de ETICS. . 36

Tabela 4.5 – Variações médias de cor total entre sistemas de ETICS após aplicação da tinta de spray azul. 36

Tabela 4.6 – Valores médios e desvios-padrão das coordenadas cromáticas L*, a* e b* e croma (C*), para as amostras após aplicação da tinta de spray prateada. 37

Tabela 4.7 - Variações médias de cor total entre tipos de ETICS após aplicação da tinta de spray prateada. 38

Tabela 4.8 – Resultado da aplicação dos testes estatísticos t-student relativo aos valores médios de rugosidade pontual entre amostras de referência. 42

Tabela 4.9 – Estimativa, através de análise de imagem, de área limpa das superfícies (em percentagem) após a limpeza aquosa com escova de nylon e com água fria ou água quente. 48

Tabela 4.10 – Estimativa da percentagem, através de análise de imagem ou macroscopicamente, de área limpa das superfícies após limpeza química e escovagem e com jato de água quente. 50

Tabela 4.11 - Variações de cor, luminosidade, a* e b* e croma (C*) ao utilizar a escovagem com água fria, relativamente as amostras após a pintura e às de referência. 51

Tabela 4.12 – Variações de cor, luminosidade, a* e b* e croma (C*) ao utilizar a escovagem com água quente relativamente as amostras após a pintura e às de referência. 52

Tabela 4.13 – Variações de cor, luminosidade, a* e b* e croma (C*) ao utilizar o removedor químico relativamente a amostras de referência na caracterização inicial. 53

Tabela 4.14 - Variações de cor, luminosidade, a* e b* e croma (C*), ao utilizar o jato de água quente relativamente a amostras de referência. 54

Tabela 4.15 - Valores médios e desvios padrão de brilho após 1º escovagem com água fria e média e variação de brilho em relação a fase anterior. 55

Tabela 4.16 - Valores após 2º escovagem com água quente de média, desvio padrão e variação de brilho em relação a fase anterior (escovagem com água fria). 56

Tabela 4.17 – Valores brilho após aplicação de removedor químico (média, desvio padrão) e sua variação em relação a fase de limpeza com água quente e escovagem (ΔGU*) e em relação a amostras de referência (ΔGU**)..... 56

Tabela 4.18 – Valores brilho após jato de água quente de média, desvio padrão e sua variação em relação a fase de limpeza com água quente e escovagem (ΔGU*) e em relação a amostras de referência (ΔGU**). 57

Tabela 4.19 – Valores médios, desvio padrão e de variação média da rugosidade pontual (expressos em mm) após limpeza com removedor químico e escovagem, em comparação com as amostras de referência na fase de caracterização inicial e em comparação a fase de limpeza anterior. 58

Tabela 4.20 – Valores médios, desvio padrão e de variação média da rugosidade pontual (expressos em mm) após limpeza com jato de água quente, em comparação as amostras de referência na fase de caracterização inicial e em comparação a fase de limpeza anterior. 59

Tabela 4.21 - Resumo da analise, percentagem de amostras com valores dentro do intervalo das amostras de refêrencia na caracterização inicial (A= amostras mais lisas, ou seja 1G, 4G, 9G; B = todas as outras amostras). 65

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Composição esquemática de um sistema tradicional tipo ETICS 6

Figura 2.2 – Tag (a) e um Graffiti (b) em ETICS numa habitação social na Av. Albuquerque Mouzinho, em Marvila 10

Figura 2.3 - Murais pós 25 de Abril. 10

Figura 2.4 – Exemplos de arte urbana o Bairro da Quinta do Chalé (Marvila) 10

Figura 2.5 - Argamassas sujeitas a limpeza com jato de água (provete sem pintura de anti-graffiti à esquerda e com pintura à direita) 13

Figura 3.1 - Esquema sintetizando a metodologia de investigação experimental proposta. 18

Figura 3.2 – Exemplos de referenciação dos provetes: a) Amostra 4G10 - ETICS nº 4, referência (sem aplicação de tinta); b) Amostra 4G15- ETICS nº 4, com aplicação de tinta azul. 18

Figura 3.3 – Exemplos de amostras de alguns dos sistemas de ETICS estudados: a) 1G, b) 5G, c) 8G e d) 12G. 20

Figura 3.4 – a) Latas da marca Montana, b) exemplo do modo de aplicação a cerca de 15cm da superfície e com um ângulo de 45º, c) amostra após uma aplicação e d) mesma amostra após as 6 aplicações de 1 seg. 23

Figura 3.5 – Equipamento utilizado para medição do brilho. 24

Figura 3.6 - a) Fase de aquisição de imagem das superfícies com scanner e b) Exemplo de imagem da superfície após digitalização (amostra 5G10). 25

Figura 3.7 – Ensaio do colorímetro numa amostra de referência. 26

Figura 3.8 - Amostra 3G10 com a malha de 3x3 para fazer as leituras da rugosidade pontual. 27

Figura 3.9 - a) b) Aparelho utilizado para medir a rugosidade em amostras de referência. 28

Figura 3.10 – Processos de limpeza avaliados nas amostras estudadas: a) exemplo de escovagem com escova de nylon e água fria, b) aplicação do removedor numa amostra e c) aplicação do jato de água numa amostra encaixada numa grelha especialmente preparada para o efeito 30

Figura 3.11 – Removedor de base ácida utilizado 30

Figura 4.1 – Comparação das amostras de referência, pintadas com tinta de spray azul e prateada, usando como fatores a luminosidade e o croma (C*). 36

Figura 4.2 – Valor médios e desvios padrão de brilho nas amostras de referência e das amostras azuis. 39

Figura 4.3 – Valor médios e desvios padrões de brilho após aplicação de spray prateado. 40

Figura 4.4 – Valor médio e desvios padrão de rugosidade dos sistemas antes de ser pintados (referência) e após aplicação das tintas azul e prateada. 41

Figura 4.5 – Valores médios de Ra e Rz nas amostras de referência (brancas). 43

Figura 4.6 – Valor médio de Ra e Rz nas amostras azuis. 44

Figura 4.7 – Valor médio de Ra e Rz nas amostras prateadas. 45

Figura 4.8 - Danos provocados pela removedor químico no EPS do sistema 6G a) e b); danos provocados pelo jato de água quente nas amostras 4G (c)) e 1G (d)). 47

Figura 4.9 – Imagens mostrando os danos nas amostras 9G14 (esquerda) e 6G14 (direita) após a limpeza com removedor químico. 49

Figura 4.10 – Imagens mostrando o resultado nas amostras prateadas 4G (esquerda) e 9G (direita) após a limpeza com removedor químico. 49

Figura 4.11 – Imagens, após as varias etapas de limpeza, binarizadas da amostra 5G azuis. 50

Figura 4.12 – Diferenças registadas nas superfícies do sistema 4G entre cada etapa de limpeza da tinta de spray azul: (a) escovagem com água fria, (b) escovagem com água quente, (c) escovagem com removedor quimico e (d) jato de água quente. 52

Figura 4.13 – Diferenças registadas nas superfícies do sistema 4G entre cada etapa de limpeza da tinta de spray prateada: (a) escovagem com água fria, (b) escovagem com água quente, (c) escovagem com removedor quimico e (d) jato de água quente. 53

Figura 4.14 – Comparação da amostras 4G12 (esquerda) antes de ser limpa com as amostras 4G14 (Azul) e 4G17 (Prateada) após a limpeza com jacto de água quente. 54

Figura 4.15 – Amostras 2G e 3G com danos severos nas suas superfícies. 59

Figura 4.16 – Gráficos da relação Ra e Rz: amostras após a limpeza com removedor químico e escovagem [(a) referência, (b) azuis e (c) prateadas] e após limpeza com jato [(d) referência, (e) azuis e (f) prateadas]..... 62

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O *graffiti*, nos últimos anos, tem vindo a ganhar uma dimensão cada vez maior. Não só como uma forma de arte, mas também, na maioria dos casos, como vandalismo nas cidades, em zonas com maior densidade populacional.

Para além de contribuírem para a desvalorização e descaracterização estética dos edifícios, os *graffiti* estão, por vezes, associados ao declínio social e à insegurança. A limpeza dos *graffiti* tem vindo a evoluir com novas técnicas de limpeza, desde a aplicação de produtos químicos, sistemas de limpeza mecânica, até à limpeza por laser. No entanto, estes métodos de remoção dos *graffiti* continuam a ser um processo dispendioso e nem sempre com resultados satisfatório (Moura et al. 2016).

Por outro lado, o sistema de isolamento térmico pelo exterior ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*) tem sido uma solução com aplicação exponencial, tendo em vista a melhoria dos edifícios do ponto de vista energético (Amaro et al. 2013), eliminado pontes térmicas e reduzindo as condensações no exterior. As primeiras aplicações deste sistema foram em edifícios comerciais, pelo seu elevado valor comercial, mas ao longo do tempo os ETICS ganharam espaço no mercado, com uma redução do seu preço que levou a utilização também em edifícios de habitação familiar. Estes sistemas foram maioritariamente utilizados em edifícios novos, mas também começou-se a utilizar no mercado da reabilitação, por exemplo, em edifícios com isolamento térmico insuficiente, problemas de infiltração ou aspeto degradado (Amaro et al. 2013).

Nos grandes centros populacionais, como Lisboa e Porto, muitas das implementações em habitação familiar dos ETICS foram feitas por parte do Estado, em habitações sociais. Estas zonas são áreas com população maioritariamente jovem e estão associadas a alguma criminalidade, sendo assim zonas altamente suscetíveis a serem danificadas com *graffiti*.

Neste contexto, esta dissertação tem como objetivo a caracterização das propriedades superficiais de ETICS, antes e após a aplicação de *graffiti*, bem como após a sua limpeza. Da revisão bibliográfica efetuada, não foi encontrado nenhum trabalho que relacionada os *graffiti* com os ETICS, tendo sido necessário utilizar as referências utilizadas noutros materiais de construção (por exemplo, pedra e argamassas) (Gomes et al. 2018; Moura et al. 2016). Assim, considera-se que esta tese é pioneira no tema de avaliação da eficácia e nocividade de processos de limpeza de *graffiti* efetuados em superfícies de ETICS.

1.2 Objetivo

A presente dissertação tem como finalidade analisar o comportamento da superfície de 12 tipos diferentes ETICS face à presença dos *graffiti* e à sua posterior limpeza. Sendo assim, os principais objetivos são:

- Estudar a condição da superfície (cor, brilho, rugosidade pontual, rugosidade de perfil) de ETICS, antes e após a aplicação de *graffiti* (dois tipos: azul e prateado);
- Sistematização e elaboração de uma metodologia de limpeza de *graffiti* em ETICS e avaliação da eficácia das técnicas de limpeza utilizadas;
- Caracterização experimental da cor, do brilho, da rugosidade pontual, da rugosidade (perfilómetro) em 12 tipos de ETICS durante e após a limpeza, e análise comparativa entre os tipos de ETICS.

1.3 Estrutura e organização da dissertação

Este trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos: introdução, ETICS e técnica de limpeza de *graffiti*, materiais e metodologia experimental, apresentação de resultados e discussão, e por último, as conclusões e desenvolvimentos futuros.

No presente capítulo, apresenta-se uma breve introdução ao tema, o interesse e a importância do seu desenvolvimento e os objetivos que se pretendem alcançar com este trabalho experimental.

No capítulo dois, apresenta-se um levantamento do estado do conhecimento sobre o tema que se pretende desenvolver. Primeiramente, sobre os ETICS, começando com uma abordagem histórica, passando por descrição dos sistemas ETICS e das suas características de desempenho, finalizando com as vantagens e limitações dos sistemas. Posteriormente, utiliza-se a mesma estrutura para as técnicas de limpeza, começando com um enquadramento histórico e só depois uma abordagem das técnicas de limpeza.

O capítulo três, materiais e metodologia experimental, descreve a campanha experimental, desde os materiais utilizados (12 tipos de ETICS e tintas de aerossol utilizadas nos *graffiti*), passando pela descrição cronológica da campanha experimental (caracterização inicial, ensaios após aplicação da tinta, metodologia de limpeza e ensaios após limpeza).

No capítulo quatro, apresentam-se os resultados dos ensaios após cada fase de campanha experimental. Esses resultados são analisados e discutidos com objetivo de comparar os efeitos das tintas *graffiti* e das técnicas de limpeza nos 12 tipos de ETICS, comparando assim as propriedades superficiais dos ETICS.

O capítulo 5 inclui as conclusões do trabalho realizado e propostas para desenvolvimentos futuros. No final, apresentam-se as referências bibliográficas.

Em anexo são apresentados os resultados individuais dos ensaios efetuados durante o estudo experimental.

2 ETICS e *graffiti*

2.1 Sistema Compósito de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)

2.1.1 Considerações gerais

Os sistemas compósitos de isolamento pelo exterior, designados pela sigla ETICS a partir da terminologia anglo-saxónica (*External Thermal Insulation Composite Systems*) tem como objetivo contribuir para um melhor desempenho energético dos edifícios.

O isolamento térmico efetuado pelo exterior corrige as pontes térmicas, reduzindo o problema das condensações no interior; melhora o desempenho térmico de verão, já que permite que toda a espessura da parede contribua para a inércia térmica; e protege a estrutura e a alvenaria dos choques térmicos, contribuindo assim para o aumento da durabilidade desses elementos. Adicionalmente, apresenta algumas vantagens práticas, já que não reduz a área interior e, no caso da reabilitação, produz o mínimo incómodo para os utentes (Veiga and Malanho 2010).

Geralmente o sistema é composto por: (i) uma camada de isolante térmico fixa ao substrato (parede externa do edifício) por um produto de colagem ou mediante sistemas de fixação mecânica; (ii) uma camada de base com uma armadura em fibra aplicada sobre o isolante; (iii) e uma camada de acabamento aplicada ao sistema, com prévia aplicação de um primário (Amaro et al. 2013). Esta camada de acabamento pode ser uma pintura ou uma camada espessa.

2.1.2 Enquadramento histórico

Os ETICS surgiram como forma de satisfazer e reduzir a energia utilizada para o aquecimento e arrefecimento dos edifícios no inverno e verão, respetivamente. Este problema emergiu depois da segunda guerra mundial, numa Europa pobre e com enormes debilidades. O custo de aquecimento dos edifícios e a escassez de combustíveis eram motivos de preocupação. Estudos realizados na altura indicavam que o isolamento térmico seria mais eficaz se aplicado pelo exterior e já nos anos 60 e inícios dos anos 70 do século XX, para colmatar este problema, o interesse no isolamento pelo exterior aumentou. Este tipo de sistema começou a surgir em edifícios comerciais, estendendo-se posteriormente para edifícios de habitação (Freitas and Gonçalves 2005; Marques et al. 2018). Como se pode comprovar em estudos anteriores sobre ETICS, a maioria dos edifícios com esta solução/sistema em Portugal são públicos, como faculdades (por exemplo, FEUP ou IPAM, no Porto), habitações sociais (Bairro Fernão Magalhães e Bairro Outeiro, no Porto, ou na Rua Luís Piçarra, na Alta de Lisboa, na Av. Albuquerque Mouzinho, em Marvila, e no Largo Roque Laias, em Odivelas), mas também se pode encontrar algum investimento privado em edifícios localizados em Lisboa e Porto (Leão 2017).

Como referido, já na primeira metade do século XX após a realização de vários estudos, desenvolvidos por empresas como as alemãs Badische Anilin & Soda Fabrik (BASF SE) e Dryvit Systems Inc., apontavam que o sistema de isolamento pelo exterior era mais eficaz, reduzindo os recursos fazendo assim uma construção mais sustentável. Mas foi só em 1940 que se desenvolveu na Suécia, o ETICS composto por uma camada de lã mineral revestida com um

reboco de cimento e cal, este aplicado na camada exterior da parede. Em 1952 foi apresentada a primeira placa de poliestireno expandido (Marques et al. 2018) e, após 3 anos, a empresa alemã começou o fabrico e a utilização com revestimentos de tinta sintética em fachadas.

Vários autores, como Major (1995), reconhecem Edwin Horbach como quem desenvolveu o sistema de reboco delgado armado sobre poliestireno expandido moldado (EPS). Na década de 1950, começou a ser utilizado na Alemanha, este tipo de sistema EPS e só em 1960 é que se expandiu para os Estados Unidos da América. Em 1988, a UEAtc (*Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction*) desenvolveu as primeiras diretivas sobre os ETICS com recurso a EPS (Major 1995; Marques et al. 2018).

Passando para o panorama nacional, os primeiros ETICS foram implementados em Portugal na década de 1970 (Marques et al. 2018), mas só ganharam maior dimensão após o debate de eficiência térmica das fachadas desencadeado pelo regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Atualmente o projeto e execução do ETICS devem obedecer aos requisitos regulamentares em vigor, nomeadamente ao REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação), ao RECS (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços) e ao SCIE (Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndios em Edifícios), e em cumprimento das condições de higiene e segurança no trabalho nos procedimentos de aplicação (APFAC 2016). Estatísticas mostram que o uso de ETICS em Portugal aumentou de 200.000 m^2 de área aplicada até 2006, para cerca de 4.000.000 m^2, em 2015 (Amaro et al. 2013; Expresso 2016).

Após alguns documentos normativos, surgiu, em 2000, o *ETAG 004 - Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*, um guia técnico para sistemas ETICS, da responsabilidade da EOTA (*European Organization for Technical Approvals*), aparecendo, mais tarde, as aprovações técnicas europeias referentes a ETICS. Em Portugal, ao principio a responsabilidade de execução dos ensaios requeridos e acreditação dos resultados é do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), um organismo membro da EOTA (APFAC 2016; Marques et al. 2018), atualmente existem outras entidades como CERTIF Associação para a Certificação ou SGS-ICS Serviços Internacionais de Certificação, Lda.

Em Portugal, o Sistema Nacional de Certificação Energética dos Edifícios e da Qualidade de Ar Interior (SCE) só foi implementado a 1 julho 2006. Em edifícios habitacionais e comerciais é obrigatório a certificação dos edifícios segundo este sistema, cujo principal objetivo é poupar energia e proteger o ambiente (Marques et al. 2018).

Em 2008, foi criada EAE (*European Association for ETICS)*, um organismo cujo objetivo é desenvolver o mercado europeu, ajudar a desenvolver o controlo em toda europa, pesquisar e testar novos produto e facilitar as trocas de experiencias por todos os países membros ("Objectives | European Association for ETICS (EAE)" n.d.).

Atualmente na Europa, a diretiva n.º 2002/91/CE (revista em 2010), refere que os países membros da EU devem elaborar e validar um sistema de certificação energética. Aliás essa diretiva exige a aprovação do certificados de qualidade térmica em edifícios novos e em trabalhos de reabilitação (Amaro et al. 2013).

2.1.3 Constituintes do sistema

No sistema compósito de isolamento térmico pelo exterior, ETICS, a sua composição depende de vários fatores tais como o nível de isolamento, a resistência mecânica e o acabamento final que se pretende, devendo, no entanto, respeitar os respetivos requisitos.

Este tipo de sistema pode ser aplicado em paredes de alvenaria (por exemplo constituídas por tijolos, blocos de betão maciços ou leves) ou em paredes de betão (betonadas moldado in situ ou pré-fabricadas) (Veiga and Malanho 2010). Podem ainda ser suportes rebocados, pintados ou com revestimentos orgânicos ou minerais, desde que estejam devidamente preparados, sem humidade e isentos de sujidade ou resíduos que possam prejudicar a aderência e o desempenho do sistema de revestimento (Marques et al. 2018).

Como referido, estes sistemas são aplicados na parede externa dos edifícios, com recurso a um produto de colagem, fixados mecanicamente ou utilizando ambas as soluções. Os produtos de colagem usados normalmente na colagem das placas isolantes devem ser aplicados numa camada continua, em bandas ou através de pontos. Estes tipo de fixação é complementada com fixações mecânicas evitando assim a descolagem antes do produto de colagem secar (APFAC 2016).

Nos sistemas de fixação mecânica, os fixadores devem ser buchas de plástico com um prego ou parafuso anticorrosivos, no seu interior. Estes tipo de fixação é particularmente utilizado em casos de exposição a ventos fortes ou em revestimento cerâmico ou em pedra (Marques et al. 2018). Também é um sistema muito utilizado já que permite a existência de uma lâmina de ar, dando a possibilidade de eliminação dos riscos de condensação no isolante térmico (APFAC 2016).

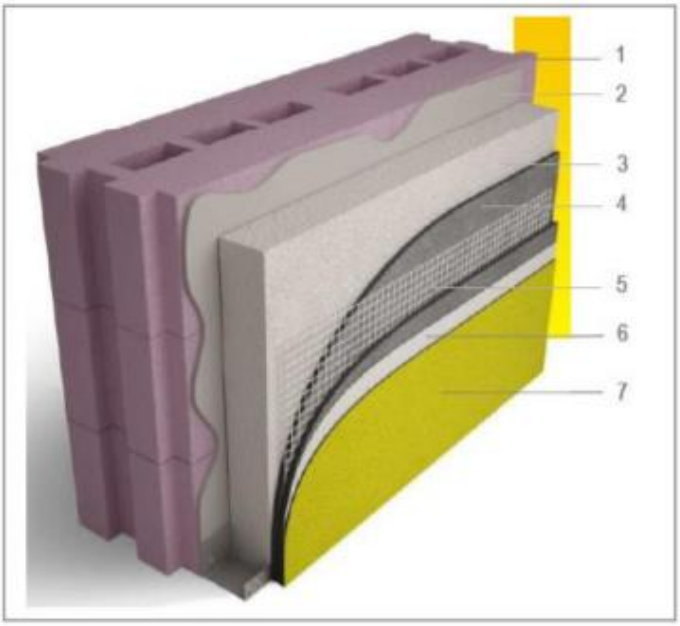
As placas de isolamento normalmente utilizadas são de EPS (poliestireno expandido moldado), XPS (poliestireno expandido extrudido), MW (lã mineral) e ICB (placas de aglomerado de cortiça expandida). Nestes painéis de isolamento aplica-se uma camada base, composta de argamassa de cimento com resinas sintéticas ou mistas. Nos sistemas de colagem, esta camada base é utilizada como produto de colagem (APFAC 2016; Veiga and Malanho 2010). Para aumentar a resistência à fendilhação e à resistência mecânica, a camada base leva uma armadura de rede flexível de fibra, geralmente de fibra de vidro.

A camada de acabamento pode ser constituída por: pintura com tintas ou revestimentos plásticos espessos (RPE) de ligante sintético; ou, mais raramente, de ligantes minerais ou mistos, pintura de silicatos, revestimentos descontínuos de madeira, de ladrilhos cerâmicos, placas pétreas ou outros (Ximenes et al. 2015).

O acabamento final tem diversas funcionalidades desde decorativas a de proteção, como por exemplo: promovendo a resistência aos choques, ajudar a tornar o sistema resistente à agua, sem reduzir significativamente a permeabilidade ao vapor de água (Veiga and Malanho 2010).

Segundo Marques et al. (2018), existem 4 tipos de sistemas ETICS:

- tradicional - sistema composto por placas de isolamento com EPS, armadura de fibra de vidro e acabamento simples e rugoso (exemplo ilustrado na Figura 2.1);
- reforçado - quando existe a aplicação dupla de armadura;
- resistente - quando se utiliza materiais que promovem uma maior resistência mecânica do sistema, como, por exemplo, uma malha de fibra de carbono;
- cerâmico - sistema com elementos cerâmicos como solução de acabamento.



1 – Alvenaria

2 – Aragamassa de colagem

3 – Placa isolante

4 – Argamassa de revestimento

5 – Rede de reforço

6 – Primário de regularização

7 – Acabamento colorido

Figura 2.1 - Composição esquemática de um sistema tradicional tipo ETICS [WEBER, 2012]

2.1.4 Características de desempenho

Os ETICS são sistemas considerados não-correntes, por isso precisam de uma marcação CE que lhes é atribuída com base numa Aprovação Técnica Europeia (ETA - *European Technical Approval*) (Esteves 2014). Para essa aprovação utilizam-se os sete requisitos essenciais definidos na ETAG 004 (*European Technical Approval Guideline*, 2013), designados pela sigla ER *(essencial requirements*) que devem ser satisfeitos durante um período de vida útil economicamente razoável (neste documento estima-se 25 anos) e que se apresentam na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Síntese dos requisitos essenciais definidos para ETICS e respetivos ensaios segundo a ETAG 004 (EOTA, 2013) [citada e traduzida por Esteves 2014]

ER	Designação	Parâmetros a avaliar	Ensaios
1	Resistência mecânica e estabilidade	-	-
2	Segurança contra risco de incêndio	Reação ao fogo	Reação ao fogo
3	Higiene, saúde e ambiente	Estanquidade	Comportamento higrótermico
			Comportamento gelo-degelo
		Resistência ao choque	Ensaio de choque de corpo duro
			Resistência à perfuração
		Permeabilidade ao vapor de água	Resistência à difusão de vapor de água
			Teste de capilaridade
		Ambiente exterior	Libertação de substâncias perigosas
4	Segurança na utilização	Aderência entre camada	Aderência entre camada de base e material de isolamento térmico
			Aderência entre a cola e o substrato
			Aderência entre a cola e o material de isolamento térmico
		Resistência à ação do vento	Arrancamento por tração das fixações mecânicas
			Static foam block test
			Ação dinâmica de sucção
5	Proteção contra o ruído	Isolamento sonoro	Ainda não especificado (utilizar EN 10140-1, EN 10140-2, EN 10140- 4 EN 10140-5)
6	Economia de energia e retenção de calor	Resistência térmica	Resistência térmica
7	Durabilidade e facilidade de manutenção	Aderência após envelhecimento com ciclos gelo-degelo	Aderência do revestimento final após envelhecimento com ciclos gelo-degelo

2.1.5 Vantagens e inconvenientes dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior

Como referido, uma das maiores vantagens deste tipo de solução é a correção das pontes térmicas causadas pelas propriedades distintas dos materiais utilizados ou na ligação entre diferentes elementos construtivos como topos de laje, caixas de estore, vigas, pilares e ombreiras de janelas e portas. Essa correção reduz assim os problemas das condensações no interior e de gradientes térmicos nas diferentes zonas (que podem propiciar a fixação de agentes biológicos)(Ximenes et al. 2015). Com isto, aumenta-se a eficiência energética dos edifícios que no inverno, conseguem uma melhor conservação do calor e no verão, regularizam a temperatura no interior, retardando a entrada de calor. Outras das vantagens são a diminuição das variações térmicas e a contribuição para a estanquidade da parede, já que a camada base serve de barreira à entrada de água (Amaro et al. 2013).

A nível construtivo pode, igualmente, considerar-se que existem benefícios na sua utilização em comparação à construção tradicional, uma vez que se reduz o peso das paredes e as cargas permanentes sobre a estrutura, tornando assim uma estrutura aligeirada. Já que os revestimentos tradicionais têm condutibilidades térmica maiores, essa mesma melhoria energética é conseguida com menor aumento de espessura da fachada e não reduz a área interior, que no caso da reabilitação é um fator importante.

Apesar destas vantagens, o sistemas não se podem aplicar em todos os tipos de edifícios, pois em edifícios antigos paredes espessas e porosas, com teores de água elevados no seu interior, podem alterar o funcionamento destes sistemas, podendo originar ou acelerar processos de degradação (Freitas and Gonçalves 2005; Veiga and Malanho 2010). Também existem normalmente nestes edifícios condicionantes arquitectónicos, ou seja a dificuldade da sua aplicação em certos pormenores dos edifícios (saliências, peitorais, adornos ou recortes)(Ximenes et al. 2015). Outro aspeto que pode ser referido são as exigências climatéricas para a sua aplicação, isto é, a temperatura ambiente adequada para o efeito deve estar compreendida entre 5 e 30 ºC e a humidade relativa do ar deve ser inferior a 80%; ou seja, a aplicação desta solução está condicionada pelo estado do tempo (Amaro et al. 2013).

Outras das condicionantes são o custo inicial elevado, comparativamente a outras soluções de revestimento mais convencional (por exemplo, argamassas correntes), acresce o facto de ser um sistema propenso ao crescimento biológico e suscetível à fendilhação por variações termo-higrométricas (Marques et al. 2018). Os ETICS são altamente sensíveis ao vento forte e podem apresentar uma elevada reação ao fogo, devido à utilização de materiais combustíveis como o EPS ou XPS.

2.2 Técnicas de limpeza de *graffiti*

2.2.1 Considerações gerais

Neste capítulo pretende-se abordar os vários métodos de limpeza para a remoção dos *graffiti* e o tipo de tintas. Os *graffiti* afetam vários materiais de suporte, especialmente em cidades muito movimentadas, como Lisboa, onde é bem visível esta anomalia por toda a cidade, em diferentes suportes. O *graffiti* vândalo (não autorizado) além de estar associado ao aumento do risco de danos em edifícios também têm uma conotação social negativa afetando bairros que ficam rotulados como áreas socioeconómicas pobres.

A remoção dos *graffiti* tem impacto sócio-económico nos países e cidades. Por exemplo, só na remoção de *graffiti*, o departamento de obras públicas de São Francisco, Estados Unidos da América, afirma gastar 20 milhões de dólares anualmente (Sanmartín et al. 2014). Em Lisboa, segundo a informação do jornal Diário de Notícias, a Câmara de Lisboa gasta cerca de 1 milhão de euros por ano na limpeza dos *graffiti*. A CP (Comboios de Portugal), gasta 300 mil euros anuais na remoção de *graffiti*, enquanto a Transportes de Lisboa (Metro e Carris) investe 20 mil euros anuais para a sua remoção em ascensores (por exemplo os ascensores da Glória, Bica e Lavra) (Capucho 2015).

2.2.2 Enquadramento histórico

Os *graffiti* começaram na década de 1970 em Nova Iorque, nas comunidades negras e latino-americanas desfavorecidas, como forma de expressão individual utilizando assinaturas individuais (Whitford 1992; Gambier 2004; Machado 2011). Rapidamente, este tipo de *graffiti* ganhou expressão, adotado pela cultura hip hop, e alastrando-se para a Europa, começando a surgir em cidades como Londres, Berlin e Paris (Gambier 2004; Machado 2011; Whitford 1992).

Nesta mesma altura em Nova Iorque, numa maneira de reforçar a sua existência e presença, os *writers* (nome dado aos autores) começaram a assinar o seu nome artístico nas paredes (Machado 2011), que segundo Campos (2007) significava uma espécie de ocupação do espaço urbano. Este tipo de *graffiti* é designado por *tags* (Figura 2.2a), difundiu-se e invadiu cidades do todo mundo. Hoje em dia pode-se encontrar nos mais diversos sítios, edifícios, monumentos, transportes públicos. Este tipo de *graffiti* é o mais comum também em Lisboa e como não tem nenhum caracter expressivo nem transmite nenhuma mensagem ao observador, é considerado, pela maioria das pessoas, como um ato de vandalismo (Machado 2011).

Como o objetivo deste tipo de *graffiti* é atingir o maior número de pessoas, criou-se uma crescente competição entre *writers* (nome dado aos autores de *graffiti* já com alguma experiência) e com o aparecimento das latas de spray, tornou-se mais fácil e rápido propagar o *graffiti* vândalo (Figura 2.2b). Estes *tags* foram crescendo em tamanho, tornando-se assim mais visíveis. Este tipo de *tags* é designado por *throw-up* (Campos 2009; Gomes 2017).

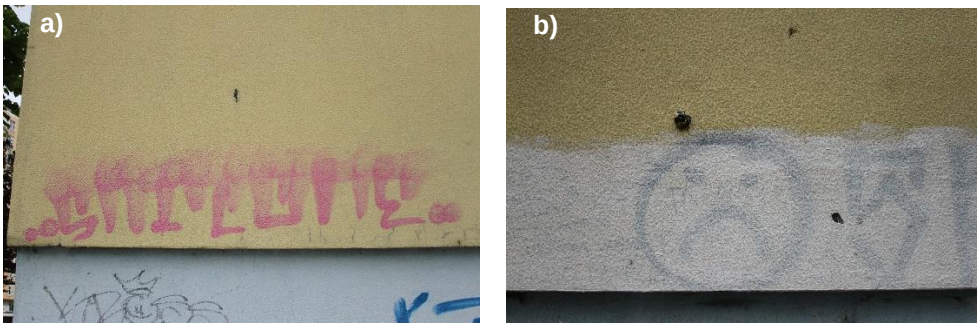


Figura 2.2 – Tag (a) e um *Graffiti* (b) em ETICS numa habitação social na Av. Albuquerque Mouzinho, em Marvila

Em Portugal, no Estado Novo, a liberdade de expressão não era permitida e os manifestos de revolta nas paredes eram escassos. Com a Revolução de 25 de abril de 1974 houve uma explosão de liberdade e as paredes foram usadas para fazer murais com *slogans* de campanhas de partidos políticos e mensagens sobre a revolução e liberdade (Machado 2011). Uma forma de *graffiti* diferente do resto já que tem uma conotação política, fazendo parte da história de Portugal e podendo ser considerado como arte urbana.

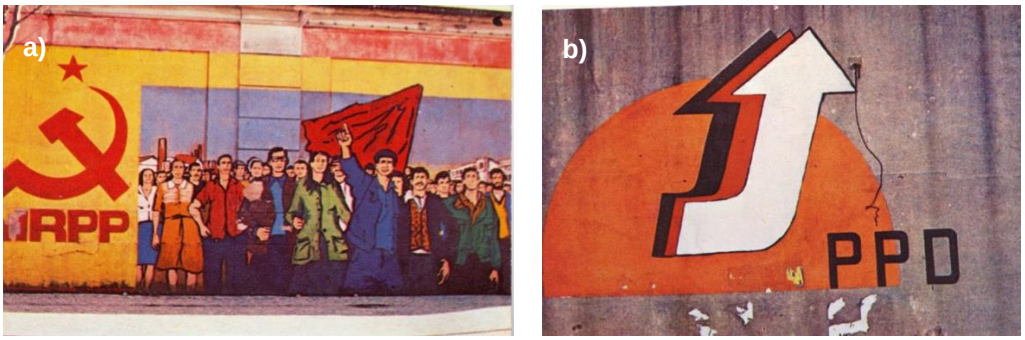


Figura 2.3 - Murais pós 25 de Abril (Mil Dias, 1978).

Nas últimas décadas, a arte urbana começou a ganhar notoriedade e começaram a surgir artistas gráficos, ganhando um maior incentivo com eventos de arte urbana (por exemplo a exposição anual *Visual Street Performance*) e além disso a Câmara Municipal de Lisboa começou a disponibilizar muros e paredes destinados especificamente para a realização de *graffiti* autorizados (Machado 2011; Moura 2014) (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Exemplos de arte urbana o Bairro da Quinta do Chalé (Marvila)

2.2.3 Tipos de tinta de *graffiti*

De entre os materiais mais utilizados para a produção de *graffiti* destacam-se os marcadores e as tintas de aerossol. Entre estes, as tintas de aerossol ganham especial relevância, pois a sua aplicação é mais rápida e simples sendo eficaz em qualquer suporte (Sanmartín et al. 2014). Os principais componentes das tintas de aerossol são:

- Pigmentos, componente que dá cor;
- Ligante, substância transparente que garante aderência aos pigmentos quando aplicado na superfície;
- Solvente cujo objetivo é tornar a mistura fluida e estabilizar a dispersão;

Atualmente, a maioria das tintas de spray contém sustâncias orgânicas sintéticas como aglutinante e pigmentos que são xenobióticos (i.e., não são produzidos naturalmente) biodegradáveis, por isso podem ser degradados com ação de organismos (Sanmartín et al. 2014).

Como referido, os pigmentos são partículas insolúveis que dão cor e opacidade à tinta. Estão divididos em dois grupos: inorgânicos, encontrados na natureza como em minerais; e orgânicos, mais utilizados do que o seu equivalente inorgânico. Os pigmentos inorgânicos podem ser classificados em brancos (como o dióxido de titânio), de cor (óxido de ferro) e metálicos (como alumínio em pó). Os ligantes podem ser produtos naturais, sintéticos e semi-sintéticos (Sanmartín et al. 2014).

Desde o século XX, os produtos sintéticos e semi-sintéticos começaram a ser menos aplicados, em detrimento dos produtos naturais que apresentam melhores características. Os produtos semi-sintéticos são relativamente baratos e dão maior viscosidade e resistência à tinta. Nos produtos sintéticos existem 3 importantes classes de resinas sintéticas nos aglutinantes: alquílicas, acrílicas e acetato de polivinilo. As tintas alquídicas são posteriormente modificadas para dar uma maior rigidez à película de tinta e uma maior resistência à água. Já as tintas acrílicas, aparentemente a longo prazo, mantêm a cor e apresentam uma maior flexibilidade. O acetato de polivinilo precisa de adições para ser utilizado em emulsões que também melhoram as propriedades como a flexibilidade da tinta e tempo de secagem (Sanmartín et al. 2014). Os solventes podem ser à base de hidrocarbonetos, oxigenados ou aquosos (Sanmartín et al. 2014).

2.2.4 Técnicas de limpeza de *graffiti*

Como vários estudos (Gomes et al. 2017; Moura et al. 2016; Weaver 1995; Whitford 1992) indicam, a limpeza de *graffiti* deve ser feita o mais rapidamente possível, de modo a não incentivar ataques futuros e para que as pinturas não se sobreponham ou combinem quimicamente com a poluição do ar, dificultando a sua limpeza em fase posterior. Acresce o fato de a limpeza dos mesmos se tornar mais onerosa e provoca mais estragos na superfície com o tempo em que os mesmos são deixados sobre as superfícies (Gomes et al. 2017).

Devido à dificuldade de limpeza dos *graffiti*, têm sido levados a cabo vários estudos para testar a eficácia e nocividade dos produtos/agentes de limpeza, tanto de natureza química ou

mecânica. Com estes estudos verificou-se que os suportes, às vezes ficam danificados e também é comum permanecer uma sombra, isto é, uma mancha residual provocada pelos *graffiti* nos materiais após a sua remoção (Moura et al. 2016; Pozo-Antonio et al. 2018).

Existem atualmente no mercado várias soluções/tecnologias de limpeza quando se quer remover os *graffiti*. Pode assim considerar-se quatro categorias principais: (i)a limpeza mecânica; (ii) a limpeza química; (iii) a limpeza com uso de pastas; e (iv) a limpeza a laser.

2.2.4.1 Limpeza mecânica

Os tipos de limpeza mecânica são:

- jato abrasivo a seco: jato de areia siliciosa, carbonato de cálcio, óxido de alumínio, cascas de noz trituradas;
- jato de água a alta pressão com ou sem aditivos químicos;
- projeção abrasiva pela via húmida;
- abrasão mecânica (discos);

A utilização de um jato abrasivo pode danificar a superfície de diversos materiais como verificado no mármore dolomítico (Antúnez et al. 2012; Gomes et al. 2017). Este facto também foi comprovado no calcário, arenito, argamassa e tijolo usando jato de água a alta pressão e jato abrasivo com partículas de areia e vidro (Gomes et al. 2017; Samolik et al. 2015). Whitford (1992) indica que nesta técnica existem 5 variáveis envolvidas: pressão, caudal da água, modo de projeção (ângulo e distância), temperatura da água e produtos químicos adicionados ou agregados/particulados introduzidos (dimensão, forma, composição). Este mesmo autor afirma que para superfícies de alvenaria menos resistentes, pode ser adequada a escolha de um maior caudal e de uma reduzida pressão. É recomendada a utilização de água quente e a utilização deste tipo de limpeza em superfícies exteriores com boa drenagem e fraca suscetibilidade à água. Ademais, a limpeza mecânica não provocará estragos na superfície se não forem introduzidos agregados no jato (Whitford 1992). Por outro lado, este autor refere também que só usar o jato de água a alta pressão não permite a remoção completa do *graffiti*, por isso esta técnica é utilizada em conjunto com um removedor químico.

É de salientar que Moura et al. (2017), testaram o jato de água (100 bar) em argamassa com e sem pintura e verificaram que esta técnica danificou a superfície do provete de argamassa sem pintura (Moura et al. 2017) (Figura 2.5).

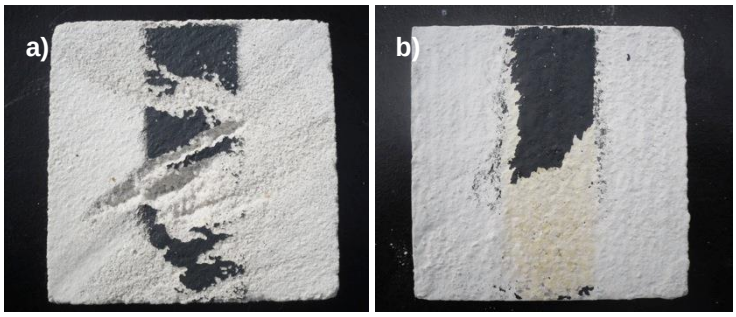


Figura 2.5 - Argamassas sujeitas a limpeza com jato de água (provete sem pintura de anti-*graffiti* à esquerda e com pintura à direita) (Moura et al. 2017)

O jato abrasivo é utilizado em superfícies no exterior. Este processo é mais lento que o jato de água e mais oneroso, já que muito dos abrasivos utilizados não se podem reutilizar (Whitford 1992). Uma das vantagens que apresenta é que não se tem de utilizar conjugadamente com um produto químico; e uma desvantagem é o facto de ser um processo muito agressivo (dependendo da pressão aplicada, do tipo de abrasivo, da sua dimensão e forma), lento, dispendioso e muito provavelmente vai deteriorar o suporte (Whitford 1992; Moura et al. 2016; Pozo-Antonio et al. 2018). Carvalhão e Dionísio (2015) utilizaram, para remover *graffiti* em pedra calcaria, 2 sistemas comerciais de jatos abrasivos secos: Sponge-Jet® e Exastrip®. O primeiro é uma mistura de poliuretano e partículas esféricas de carbonato de cálcio, com dimensão 27 µm -100 µm. No segundo, apenas foram utilizadas esferas de carbonato de cálcio e neste caso as partículas variam de 70 µm - 200 µm. Em ambos os métodos foi utlizado ar comprimido a baixa pressão entre 0.5 e 2.5 bar. Após aplicação foi observado que a tinta de spray foi removida e que macroscopicamente não se observou nenhum tipo de anomalia na superfície (Carvalhão and Dionísio 2015).

2.2.4.2 Limpeza química

Este tipo de limpeza é a mais utlizada para a remoção de *graffiti*, pois é o método mais eficaz e economicamente mais vantajoso. O tipo de produto químico aplicado varia dependendo da composição da tinta do *graffiti* e das características da superfície onde foi aplicado (Moura et al. 2016; Weaver 1995; Whitford 1992).

Existem inúmeros tipos de produtos químicos utilizados na remoção de *graffiti*, desde detergentes, solventes para remoção de tintas (baseados em dicloreto de metileno), solventes orgânicos, produtos alcalinos (soda cáustica) e decapantes. Outro aspeto que varia nestes produtos é a consistência que pode ser líquida ou em géis (Moura 2014; Weaver 1995).

Destes vários tipos de agentes de limpeza, os mais utilizados são os solventes orgânicos e os decapantes que podem se combinar com certas adições que fazem aumentar a viscosidade e formam assim um gel. Este tipo de gel é mais vantajoso para a remoção do *graffiti*, já que aumenta o tempo de contacto do produto com o *graffiti* (Moura 2014; Weaver 1995; Whitford 1992). Outro problema dos solventes orgânicos como tolueno ou metilpirrolidona, utilizados frequentemente para remover a pintura, é serem altamente tóxicos, poluindo o ar e prejudiciais

para a camada de ozono (Sanmartín et al. 2014). Apesar deste produtos serem eficazes, são também altamente tóxicos para os seres humanos através da ingestão, inalação e contacto com a pele (Weaver 1995).

Os *graffiti* num estado fresco (até dois dias de idade) feitos por marcadores solúveis em água podem ser removidos com água quente ou detergente não iónicos (Sanmartín et al. 2014). Por vezes, o amoníaco também pode ser eficaz na limpeza em *graffiti* pintados de fresco (Weaver 1995).

Para limpeza de *graffiti* são utilizados produtos tanto alcalinos como ácidos. Neste tipo de limpeza, as superfícies têm que ser neutralizadas e enxaguadas com água para remover quaisquer resíduos (Sanmartín et al. 2014). São utilizados para limpeza de *graffiti*, mas também para remoção de manchas no material (em forma de pasta). Tanto os produto ácidos como os básicos têm de ser ter cuidado e não aplicar em suportes sensíveis aos alcalis (Moura 2014; Weaver 1995), por exemplo, removedores com soda cáustica, obriga a serem neutralizados, já que podem causar eflorescências, manchar as pedras e também haver ataque químico das superfícies.

O uso de solventes líquidos é mais adequado para superfícies lisas não porosas, não permeáveis e que não estejam pintadas, como, por exemplo, vidros sem textura, esmaltes vidrados, aço inoxidável e cerâmica vitrificada. Os solventes em aerossol são mais utilizados na limpeza de superfícies metálicas ou plásticas (Moura 2014; Whitford 1992). A vantagem da utilização de solventes é, quando estes são aplicados, evaporam-se sem deixar resíduos (Moura 2014; Weaver 1995).

2.2.4.3 Limpeza com uso de pastas

A pasta é um produto que atua permanecendo em contacto com a área manchada durante algum tempo e que efetua a limpeza removendo a tinta do material sem que esta se volte a depositar, novamente, sobre o substrato (Weaver 1995). As pasta são formadas por um material absorvente que é formado por um pó inerte à base de argila (sepiolite, caulinite ou terra diatomítica) ou de celulose (polpa de celulose macia ou o papel triturado); esta pó inerte é misturada com a água, ou com um solvente orgânico ou até um decapante, até formar uma pasta (Dimes and Ashurst 1998).

As pastas são normalmente utilizadas em alvenaria, onde algum tempo após a aplicação, a sua remoção é feita utilizando escovagem, seguida de limpeza dos resíduos, preferencialmente, com água morna. Depois de várias aplicações podem eventualmente causar o desgaste nas superfícies (Dimes and Ashurst 1998; Moura 2014).

2.2.4.4 Limpeza a laser

Desde da década de 1980, que a aplicação de laser tem vindo a ter um grande desenvolvimento devido a um melhor entendimento da física envolvida na tecnologia laser (Gomes et al. 2018). Em alguns materiais, como nas pedras com maior valor e mais frágeis, a técnica a laser permite

uma limpeza menos agressiva, comparativamente com a limpeza química e mecânica (Chapman 2000) (Chapman, 2000; Salimbeni et al., 2000).

A limpeza a laser pode ocorrer fototermicamente, fotoquimicamente ou recorrendo a ambos os processos. O processo fototérmico utiliza laser com comprimentos de onda na gama do visível ou infravermelho e a limpeza do *graffiti* é feita por vaporização. No processo fotoquímico, utiliza-se um laser com comprimento de onda na gama do UV e a limpeza dos *graffiti* é feita através da quebra das suas ligações covalentes (Moura 2014).

Os lasers mais estudados e testados são: CO_2 laser, laser pulsado Nd:YAG e laser de díodo de alta potência (HPDL) (Gomes et al. 2018; Moura 2014; Rivas et al. 2012)·(Klemm and Sanjeevan 2008) . Este método é mais estudado em pedras graníticas e carbonatadas.

A eficácia e viabilidade deste método depende de muitos fatores, tais como: i) as propriedades físicas da superfície (rugosidade e porosidade) - o teor de humidade; ii) as características do *graffiti* e modo de aplicação (a cor e espessura dos *graffiti*); iii) e os vários parâmetros do laser como a energia, o comprimento de onda, a duração e número de pulsos e a velocidade de varredura (Gomes et al. 2018). Analisando o custo e tempo, os valores da limpeza a laser podem chegar a ser 20 vezes superior aos métodos tradicionais e esta limpeza demora mais tempo que os outro métodos, 1-2 min por cm^2 (Ortiz et al. 2013).

2.3 Sínteses do capítulo

Neste capítulo procurou-se sintetizar toda a informação relevante para a correta realização dos trabalhos apresentados nesta tese. Como se pode verificar, hoje em dia, são aplicados diversos tipos de ETICS para responder a diferentes tipos de requisitos. O objetivo principal dos ETICS é a eliminação de pontes térmicas e a redução do risco de condensações interiores. Estes sistemas estão sujeitos a vários tipos de degradação em meio urbano e o *graffiti* vândalo é um deles.

Atualmente, os *graffiti* vândalos são uma anomalia frequente nos edifícios e a sua limpeza é particularmente dispendiosa. Existem várias técnicas de remoção, mas as mais utilizadas são os produtos químicos na zona danificada pelo *graffiti* e posteriormente a lavagem com jato de água. Das técnicas sintetizadas neste capítulo nenhuma foi estudada em ETICS. No capítulo seguinte, apresenta-se uma metodologia experimental que tem como objetivo estudar a eficácia destas técnicas de limpeza e caracterizar as alterações provocadas nas superfícies do ETICS.

3 Materiais e metodologia experimental

3.1 Resumo da metodologia aplicada

Este capítulo descreve a campanha experimental efetuada estudar as características superficiais, antes e após dos *graffiti*, e para avaliar a eficácia e a nocividade de vários processos de limpeza de tintas de *graffiti* aplicadas em ETICS.

Foram utilizados para esta avaliação 9 provetes para cada tipo dos 12 ETICS, o que totaliza 108 provetes. Três provetes, para cada tipo de ETICS, foram usados como referência (amostra de referência) e, portanto, não foram pintados. Os restantes, 3 provetes foram pintados com uma tinta spray azul (amostras azuis) e 3 pintados com uma tinta spray prateada (amostras prateadas). No capítulo 3.2.1 apresenta-se uma descrição pormenorizada dos materiais estudados, ETICS e tintas de spray utilizadas.

Em seguida, fizeram-se os ensaios de caracterização, nomeadamente avaliação de cor, brilho, análise de imagem das superfícies, rugosidade pontual e rugosidade com perfilómetro, seja sobre as amostras de referência, seja sobre as amostras após aplicação das tintas de spray. Em cada grupo de 3 amostras, e baseado no procedimento normativo ASTM D7089 (ASTM 2014) e numa dissertação de mestrado (Moura 2014), elaborou-se a seguinte metodologia sequencial de limpeza (sintetizada na Fig. 3.1), que teve como critério principal ir de métodos potencialmente menos invasivos, para métodos mais invasivos e de maior risco:

1- Limpeza aquosa, com escova de nylon em água fria;
2- Limpeza aquosa, com escova de nylon em água quente a 40ºC;
3- Limpeza com removedor químico, e seguidamente limpeza aquosa com escova de nylon em água quente;
4- Limpeza com a 2º aplicação de removedor químico, passando a escova de nylon em água quente ou limpeza com jato de água quente a 40ºC.

É relevante salientar que só se avançou para o seguinte nível de limpeza se o resultado no presente nível não fosse considerado satisfatório. Entre cada fase de limpeza mediu-se a cor, o brilho e fez-se a aquisição de imagem digital das superfícies. Após a última limpeza (fase 4), realizaram-se novamente as medições dos 5 ensaios preconizados (cor, brilho, aquisição de imagem das superfícies, rugosidade pontual e rugosidade com perfilómetro).

Apresenta-se na Figura 3.1 a síntese da metodologia de investigação experimental utilizada e que será mais pormenorizada nos sub-capítulos seguintes.

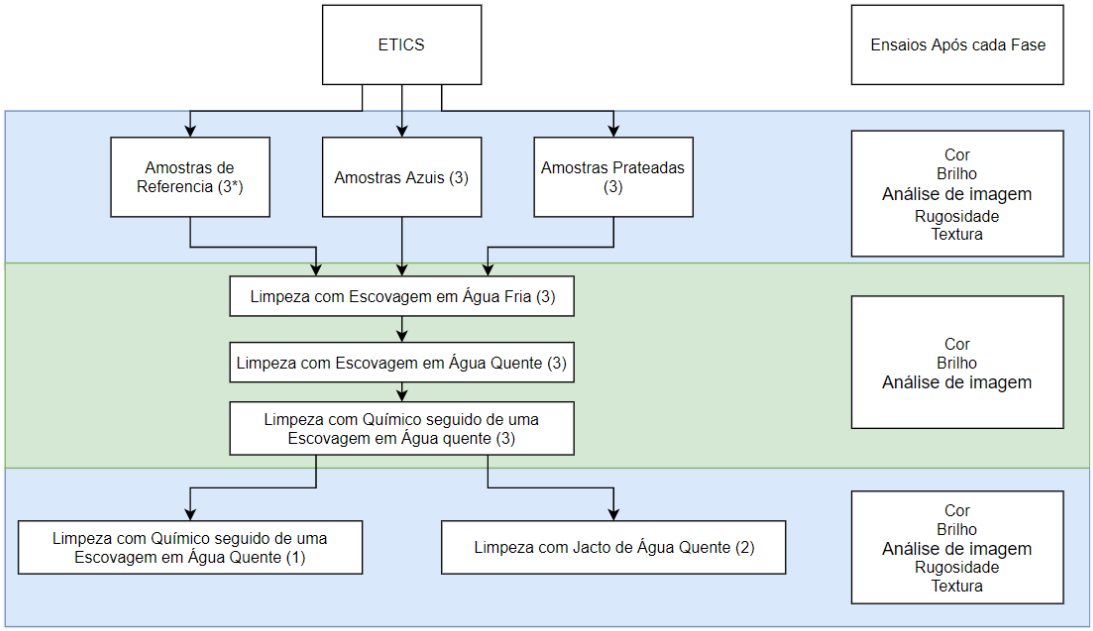


Figura 3.1 - Esquema sintetizando a metodologia de investigação experimental proposta.

3.2 Materiais

3.2.1 Referenciação das amostras

O primeiro passo consistiu na referenciação das amostras de ETICS, de forma que as siglas atribuídas às amostras fossem coerentes ao longo de toda a campanha experimental. Na identificação, o primeiro número atribuído às amostras é o tipo de ETICS (varia de 1-12 conforme as várias tipologias de ETICS), seguido de uma letra (G, que significa *graffiti*) e o último número (varia de 10-18) é relativo ao número do provete de cada ETICS. O último número começa no 10 porque as amostras de 1 a 9 são relativas a uma dissertação de mestrado que se encontra a decorrer em paralelo e que aborda outros aspetos do desempenho dos sistemas ETICS (Feltes 2020). Acresce que às amostras de referência foi sempre atribuído um número do 10 ao 12 (Figura 3.2 a)), às amostras azuis número de 13-15 (Figura 3.2 b)) e às amostras prateadas números do 16-18. Por exemplo, a 4G10 é uma amostra do quarto tipo de ETICS utilizado neste estudo e o número 10 significa uma amostra sem aplicação de tinta de aerossol.

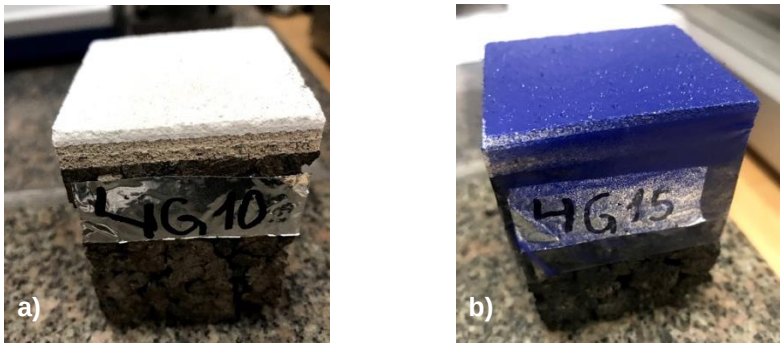


Figura 3.2 – Exemplos de referenciação dos provetes: a) Amostra 4G10 - ETICS nº 4, referência (sem aplicação de tinta); b) Amostra 4G15- ETICS nº 4, com aplicação de tinta azul.

Após identificação e colagem nas amostras de uma fita cola prateada de alumínio da marca Akí, as amostras foram seladas com uma fita cola transparente da marca TESA, para não contaminar as superfícies laterais das amostras durante a aplicação das tintas de spray.

3.2.2 Descrição das amostras

As amostras de ETICS foram disponibilizados por vários fabricantes de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior. Nos 12 tipos de amostras pode-se encontrar um destes 3 isolantes térmicos: EPS, ICB e MW, que são acrónimos anglo-saxónicos para poliestireno moldado expandido, aglomerado de cortiça expandida, e lã mineral, respetivamente. As amostras de EPS tem incorporada uma rede, isto significa que o sistema é reforçado com uma rede de fibra de vidro para melhorar a resistência a fendilhação e aos choques. As amostras do 1G, 2G e 3G com EPS têm uma camada base com rede fibrada, isto é, argamassa em pó à base de cimento, resinas sintéticas, fibras, elementos minerais e aditivos. Estas amostras podem ter duas variantes de sistemas de acabamento:

- Uma argamassa em pó areado, como primário, e acabamento com um primário aquoso branco e uma tinta acrílica com película areada fina, reforçada com quartzo;
- Um primário texturado aquoso acabado com um revestimento espesso aquoso, baseado num copolímero sintético, isto é, partículas de mármore com granulometria selecionada e pigmentos. Uma das amostras ainda tem uma tinta acrílica com pelicula areada fina, reforçada com quartzo.

Nas amostras do 4G ao 8G pode-se encontrar os 3 tipos de isolante anteriormente mencionados. As duas amostras de isolamento com cortiça (4G e 5G) têm uma camada base com cal hidráulica natural, cimento e ligante pozolânico, ligantes poliméricos, cargas minerais, resinas, fibras sintéticas e aditivos especiais. Uma delas (4G) tem um acabamento cal aérea, cargas minerais, pigmentos e aditivos específicos. A amostra 5G tem um primário regulador composto por cargas minerais, dispersão aquosa de copolímero acrílico e aditivos específicos e acabamento com resinas acrílicas em dispersão aquosa, cargas minerais, pigmentos e aditivos.

Os elementos com EPS (6G e 7G) são compostos com uma camada base de argamassa cimentícia, contendo cargas minerais, resinas, fibras sintéticas e aditivos. A camada seguinte é uma camada de regularização com cargas minerais, dispersão aquosa de co-polímeros acrílicos e aditivos específicos. A camada de acabamento é constituída por resinas acrílicas em dispersão aquosa, cargas minerais, pigmentos e aditivos. Por último, a amostra de lã mineral (8G) tem o mesmo acabamento que a amostra anteriormente descrita.

Nos produtos 9G a 12G existem 4 tipos de isolante. Existem duas amostras (9G e 10G) com uma camada isolante de aglomerado de cortiça sobreposta por uma camada base de argamassa com base em ligantes mistos, agregados de cortiça e cal hidráulica natural. Para o acabamento, na primeira utiliza-se um primário aquoso de silicatos e uma tinta aquosa de silicatos. Na segunda tipologia o acabamento é à base de tinta acrílica.

As últimas 2 amostras (11g e 12G) têm a mesma camada base e de acabamento: uma rede de fibra de vidro e uma argamassa cimentícia, constituída por fibras, ligantes mistos e agregados e um acabamento primário aquoso de silicatos e uma tinta acrílica. A diferença está no material isolante térmico que difere entre EPS e lã mineral, respetivamente.

Esta descrição, disponível nas fichas técnicas dos sistemas, encontra-se sintetizada nas Tabelas 3.1 e 3.2. Na Figura 3.3 pode-se visualizar alguns sistemas de ETICS anteriormente descritos e em anexo encontram-se todos os perfis de cada sistema (Anexo A.1).

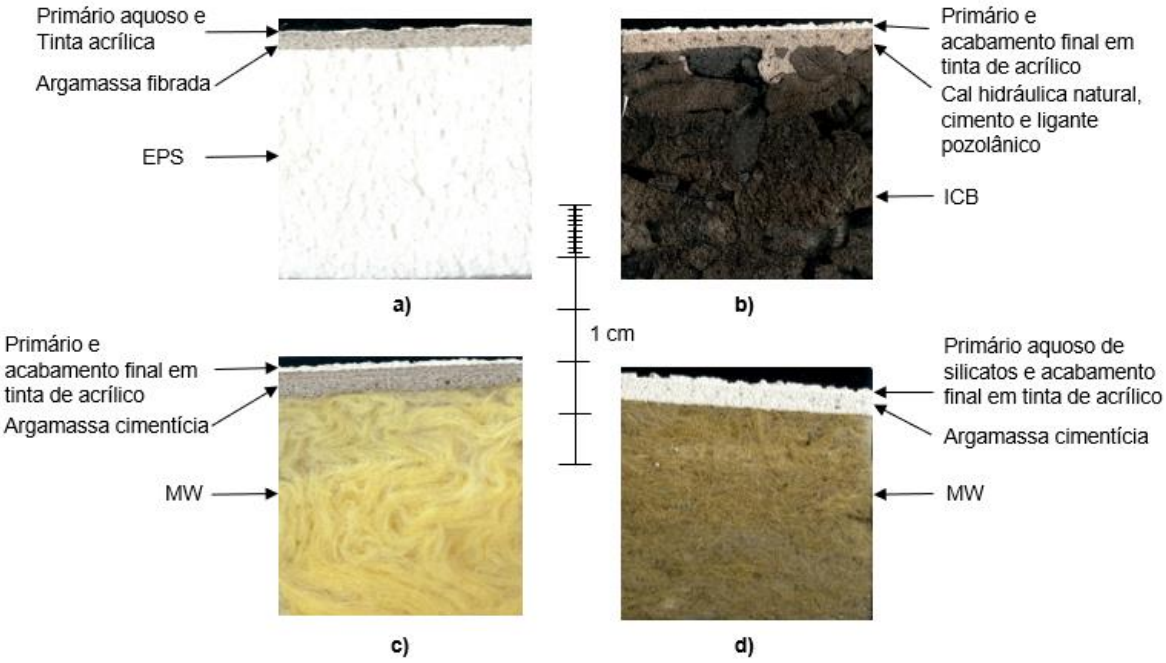


Figura 3.3 – Exemplos de amostras de alguns dos sistemas de ETICS estudados: a) 1G, b) 5G, c) 8G e d) 12G.

Tabela 3.1 - Descrição dos sistemas de ETICS 1G até 6G de acordo com descrição dos fabricantes.

Amostras					
1G	**2G**	**3G**	**4G**	**5G**	**6G**
Isolante					
EPS	EPS	EPS	ICB	ICB	EPS
Argamassa cimentícia com rede de fibra	Argamassa cimentícia com rede de fibra	Argamassa cimentícia com rede de fibra	Cal hidráulica natural, cimento e ligante pozolânico	Cal hidráulica natural, cimento e ligante pozolânico,	Argamassa cimentícia com fibras
Camada de acabamento					
Primário					
Primário aquoso branco	Primário texturado aquoso	Primário texturado aquoso	Cal aérea, ligante hidráulico,	Dispersão aquosa de acrílico	Dispersão aquosa de acrílico
Final					
Tinta acrílica com pelicula areada fina, reforçada com quartzo	a) Revestimento aquoso b) Tinta acrílica com pelicula areada fina, reforçada com quartzo	Revestimento aquoso		Tinta acrílica com textura média(M) ou fina(F)	Tinta acrílica com textura média(M) ou fina(F)

Tabela 3.2 - Descrição dos sistemas 7G até 12G de acordo com descrição dos fabricantes.

Amostras					
7G	**8G**	**9G**	**10G**	**11G**	**12G**
Isolante					
EPS	MW	ICB	ICB	EPS	MW
Camada base					
Argamassa cimentícia com fibras	Argamassa cimentícia com fibras	Argamassa com base em ligantes mistos, agregados de cortiça e cal hidráulica natural	Argamassa com base em ligantes mistos, agregados de cortiça e cal hidráulica natural	Argamassa cimentícia com fibras	Argamassa cimentícia com fibras
Camada de acabamento					
Primário					
Dispersão aquosa de acrílicos e aditivos específicos	Dispersão aquosa de acrílicos e aditivos específicos	Primário aquoso de silicato	Primário antialcalino com resinas acrílicas	Primário antialcalino com resinas acrílicas	Primário antialcalino com resinas acrílicas
Final					
Tinta acrílica com textura média(M) ou fina(F)	Tinta acrílica com textura média(M) ou fina(F)	Tinta aquosa de silicato	Acabamento acrílico	Acabamento acrílico	Acabamento acrílico

3.2.3 Tinta de *graffiti* e aplicação

As cores escolhidas para aplicação da tinta de spray foram o Azul Ultramarino (RAL 5002) e o Prateado (RAL 7001), ambos da marca Montana Colors S.L (Figura 3.4 a). Esta escolha foi baseada em estudos anteriores (Pozo-Antonio et al. 2018) (Rivas et al. 2012), que referem que estas duas cores têm um comportamento diferente em termos de resistência aos processos de limpeza. Como relatado nestes estudos a tinta de cor azul ultramarino é constituída por resinas alquídicas e resinas de poliéster, enquanto que a tinta prateada é composta predominantemente por polímeros do tipo polietileno. Nestes mesmos estudos foi analisada a composição das tintas através dum Espectrómetro de Fluorescência de raios X e Analisador Elementar CHNS. Os resultados apresentados nesses estudos indicam as seguintes composições químicas:

- *Tinta Azul*: < 5% carbono (C) – 62.91%, hidrogénio (H) – 7.25%, titânio (Ti, incluindo TiO_2) – 14.20%, Dióxido de Silício (SiO_2) – 5.03%
- *Tinta Prateada*: <5% carbono (C) – 70.36%, hidrogénio (H) – 10.16%, Oxido de alumínio (Al_2O_3) - 19.43%.

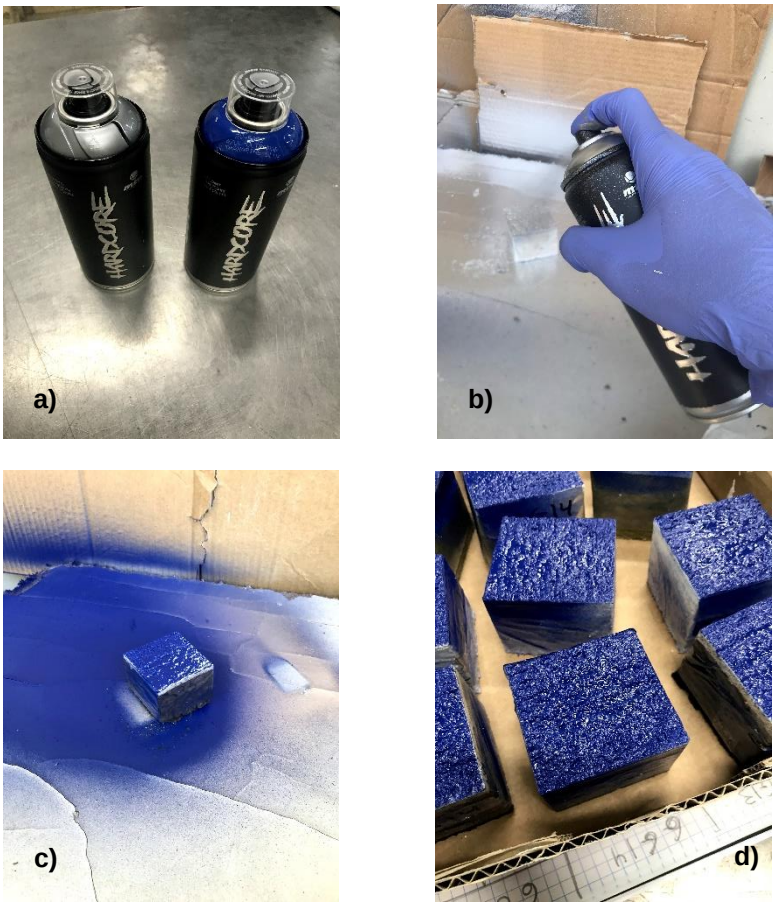


Figura 3.4 – a) Latas da marca Montana, b) exemplo do modo de aplicação a cerca de 15cm da superfície e com um ângulo de 45º, c) amostra após uma aplicação e d) mesma amostra após as 6 aplicações de 1 seg.

Para aplicação das tintas de spray seguiu-se o procedimento normativo proposto pela norma ASTM D7089 (ASTM 2014), onde é mencionado que as tintas em spray devem ser aplicadas a velocidade constante e a uma distância de 15 cm do provete, com uma inclinação de 45º sobre a superfície (Figura 3.4b).

Após uma série de aplicações preliminares em provetes descartados, visando uma adaptação da norma, foi estabelecido que para preencher toda a superfície das amostras fosse necessário pulverizar a superfície durante 1 segundo, repetindo esta operação 3 vezes em 2 direções distintas, ou seja, o total correspondeu a 6 passagens de tinta sobre cada superfície (Figura 3.4c).

Seguindo a norma ASTM D6578 (ASTM 2018), após aplicação das tintas de spray sobre as amostras, estas devem ser deixadas em repouso durante pelo menos 24 horas à temperatura ambiente, por forma a garantir a polimerização e secagem das tintas, antes de avançar com

novos testes. Assim, após as aplicações, as amostras foram acondicionadas numa câmara climática com temperatura do ar (~20ºC) e humidade relativa constante (~65%). Foi controlada a massa dos provetes antes de serem pintados, imediatamente após pintura e ao longo dos 3 dias seguintes (72h). Foi apurado que a diferença média de perda de massa entre 24h e 72h foi de 0.1 g (aproximadamente 0.3% da massa da amostra), concluindo então que os provetes ficaram quase completamente secos já ao final de 24h após aplicação da tinta. Acresce que, num estudo anterior (Pozo-Antonio et al. 2018) não foram encontradas diferenças na eficiência da limpeza de *graffiti* em pedra, 3 e 30 dias após a aplicação. Pelo que os ensaios após aplicação das tintas começaram a ser realizados 8 dias após a sua aplicação.

3.3 Metodologia experimental

3.3.1 Caracterização inicial

Após a referenciação e identificação das amostras, foi realizada uma série de ensaios preliminares de forma a obter uma referência/caracterização inicial das superfícies e que serviram para comparar os resultados com as amostras pré e após limpeza (Figura 3.1).

3.3.1.1 Ensaio de brilho (Glossmeter)

O ensaio foi realizado segundo a norma ASTM D6578 (ASTM 2018) , ou seja, medindo o brilho inicial das superfícies com um ângulo de medida de 60º, isto é, o ângulo do raio emitido pelo aparelho com o eixo vertical. Este ângulo foi preferido ao ângulo de 20º, porque as amostras são baças e não são necessários outros ângulos para ajudar na sua caracterização. Foram efetuadas, em cada amostra, 9 leituras (3 leituras por provete: duas nos eixos ortogonais e a outra no alinhamento formado pelos vértices oposto da superfície quadrada) (cujas média e desvio padrão serviram de referência) registadas como valor da unidade de brilho (Gloss Unit - GU). Segundo a ISO 2813, o valor do brilho é um rácio multiplicado por 100 do fluxo de luminosidade refletido (ISO 2014). Também é importante mencionar que este valor é influenciado pelas características da superfície, como sejam a textura, a rugosidade e microestrutura da amostra (ISO 2014). As medições foram efetuadas utilizando equipamento Rhopoint Novo-Gloss Lite (Figura 3.5).

Figura 3.5 – Equipamento utilizado para medição do brilho.

O princípio básico de funcionamento do medidor de brilho é a medição do reflexo do raio de luz incidente numa superfície. Este valor é determinado considerando o comportamento da intensidade da luz refletida do ponto de encontro sobre uma placa interna refletora. O valor de brilho está relacionado com as propriedades de reflexão de um vidro preto polido normalizado. Refira-se que o equipamento foi previamente calibrado.

3.3.1.2 Análise de imagem das superfícies

Esta análise teve duas componentes: a primeira a digitalização da superfície das amostras e a segunda o tratamento da imagem, com recurso a ferramentas digitais. Na digitalização foi utilizado um scanner HP Officejet Pro L7480 All-in-One (figura 3.6). As digitalizações foram realizadas considerando uma resolução de 2400 ppp (ponto por polegada). Foram adquiridas imagens da superfície, bem como dos perfis transversais. Os perfis transversais tiveram como objetivo determinar a espessura de cada camada do ETICS na fase de caracterização inicial, assim como avaliar a ocorrência de desgaste da camada de acabamento no final do processo de limpeza. Para estimativa da área limpa após conclusão das fases de limpeza foi utilizada sobre as imagens adquiridas, o programa de processamento e análise de imagens digitais GIMP®. Esse processamento consiste na binarização (preto/branco) da superfície, onde os pixéis com tinta *graffiti* ficam pretos e a superfície limpa fica branca. Sendo assim possível quantificar a área limpa, em percentagem.

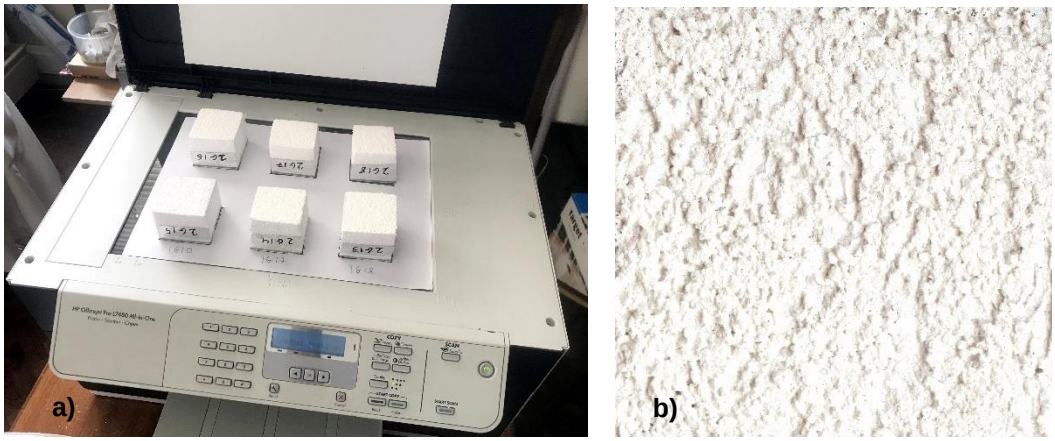


Figura 3.6 - a) Fase de aquisição de imagem das superfícies com scanner e b) Exemplo de imagem da superfície após digitalização (amostra 5G10, imagem 5x5cm).

3.3.1.3 Avaliação da cor

A avaliação de cor foi feita recorrendo ao colorímetro MINOLTA CR-410 Chroma Meter, tendo-se optado por medir as 3 coordenadas de cor (*L**, *a**, *b**) do sistema de cor CIELAB. O valor *L** indica a luminosidade, que pode variar entre 0 (preto) a 100 (branco). Os valores de *a** e *b** representam as coordenadas cromáticas do vermelho-verde (+*a** indica vermelho e –*a** verde) e do amarelo-azul (+*b** indica o amarelo e –*b** o azul), respetivamente. O croma ou saturação da cor (C*) pode ser calculado a partir dos valores de a* e b*:

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3.1)$$

Para o cálculo da variação total de cor (ΔE^*_{ab}), utilizou-se a seguinte expressão (Mokrzycki and Tatol 2011):

$$\Delta E_{ab}{}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (3.2)$$

Este método é considerado mais fiável do que uma observação visual, que é subjetiva e, portanto, não quantificável em termos absolutos. O colorímetro permite uma quantificação da variação de cor, já utilizado em alguns estudos na área dos materiais de construção como sejam pedras e argamassas (Carmona-Quiroga 2010; Gomes 2017; Moura et al. 2016). As alterações de cor com $\Delta E^*_{ab} < 5$ não são percetíveis pelo olho humano (Mokrzycki and Tatol 2011). No intervalo entre 5 a 10 unidades, as alterações já são captadas pelo olho humano, mas podem ser consideradas variações minimamente aceitáveis em relação ao original. Já quando o valor é superior a 10 unidades, as alterações são claramente visíveis e, portanto, não aceitáveis comparado com original (Carmona-Quiroga 2010; Gomes 2017; Moura et al. 2016).

A metodologia utilizada consistiu em fazer 4 medidas por amostra, uma em cada quadrante da superfície, e cada valor correspondeu à média de três leituras do colorímetro (figura 3.7). Foi considerada uma área de medida de 50mm, o observador normalizado CIE 2º e o iluminante D65 (representa a luz média diurna incluindo a radiação ultravioleta com temperatura de cor correlacionada 6504K). É de realçar que o colorímetro teve de ser previamente calibrado (calibração do branco com a referência padrão D65 X=95.047; Y=100.00; Z=108.883).

Figura 3.7 – Ensaio do colorímetro numa amostra de referência.

3.3.1.4 Medição da rugosidade (pontual)

Para a avaliação da rugosidade pontual foi utilizado o rugosímetro Elcometer 223, que mede pontualmente a rugosidade superficial até 2mm de profundidade com uma escala gradual de 0.001mm. Para cada provete foram feitas 9 medidas (utilizando uma máscara de 3x3 orifícios (com diâmetro de 5 mm), Figura 3.8), registando o valor quando o ponteiro (e o valor no equipamento) estabiliza. A partir dos nove valores medidos por cada provete, foi determinada a média e o desvio padrão dos resultados

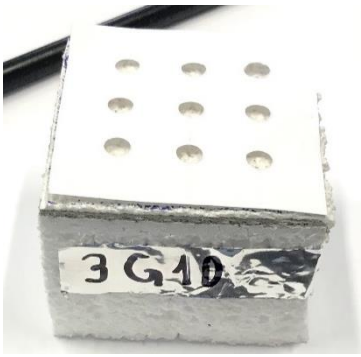


Figura 3.8 - Amostra 3G10 com a malha de 3x3 para fazer as leituras da rugosidade pontual.

3.3.1.5 Testes estatísticos

Os testes estatísticos utilizados para a correta avaliação da rugosidade pontual, já que se observou que os valores médios entre sistemas eram semelhantes e os respetivos desvios padrões eram altos, o que poderia levar a que os valores médios não fossem significativamente diferentes entre sistemas. Portanto, se isto se verifica não se pode avaliar da mesma maneira.

O teste estatístico utilizado foi o *t de student*, que teve como objetivo comprovar se as médias de rugosidade entre as amostras e no fim da remoção eram suficientemente diferentes para considerar independentes entre si. O teste t de student é um teste de hipóteses que utiliza a estatística para aceitar ou rejeitar, uma hipótese nula quando a estatística de teste t segue uma distribuição t de student. Este teste pode ser levado a cabo para a comparação de duas populações/amostras independentes, no sentido de se compreender se as médias ou desvios padrão são iguais (Montgomery and Runger 2006).

Neste caso, o objetivo deste teste foi comparar as médias da amostras 1 (μ1) e da amostra 2 (μ2). O teste de hipóteses será:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

A utilização deste teste, parte do pressuposto que os conjuntos garantem a normalidade das distribuições e a homogeneidade das variâncias.

3.3.1.6 Medição da rugosidade (Perfil)

O ensaio de rugosidade foi feito com um perfilómetro, Surfecoder SE 1200, constituído por um ponteiro de diamante acoplada diretamente a um transformador diferencial variável linear. O princípio básico para a realização de uma medida é o seguinte: o ponteiro move-se horizontalmente sobre a superfície que se deseja medir, e a rugosidade da superfície causa um deslocamento vertical do ponteiro. Este deslocamento é transmitido ao transformador, que envia um sinal elétrico amplificado, processado, digitalizado e observado no monitor.

O ensaio retorna vários parâmetros mas optou-se por trabalhar com Ra e Rz, seguindo a metodologia de vários autores (Carvalhão and Dionísio 2015):

- Ra: média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (*yi*), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição;
- Rz: média aritmética dos 5 valores da rugosidade parcial *Zi* que é definida como a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maiores afastamentos (acima e abaixo da linha média) existentes dentro de um comprimento de amostragem *le*. Graficamente, este valor representa a altura entre os pontos máximo e mínimo do perfil, dentro do comprimento de amostragem.

Segundo a ISO 4288 (ISO 1996), graficamente, o valor de rugosidade representa a altura entre os pontos máximo e mínimo do perfil, dentro do comprimento de amostragem (ISO 1996). O comprimento da linha de amostragem (*cut-off*) considerada foi de 25 mm. Este valor e o valor esperado de Ra foram determinados tendo em conta a ISO 4288 (ISO 1996). Esta norma explica que o cut-off é determinado fazendo ensaios de rugosidade na superfície alterando o cut-off, até que o Ra estivesse dentro do intervalo referenciado para esse cut-off. Foram considerados em cada amostra, duas linhas de amostragem. Segundo a ISO 4288, para não influenciar o resultado, o ponteiro tem de conseguir ler até 84% do comprimento de amostragem, sem sair do intervalo de leitura. Uma outra dificuldade no ensaio consistiu no possível deslocamento da amostra devido à força do ponteiro durante o varrimento, decorrente da leveza da própria amostra (Fig. 3.9). Nesses casos houve necessidade de repetição do ensaio. Por isso, as duas linhas de amostragem foram feitas numa local do provete onde se previa que o resultado desse válido. Para perceber se as variações de Ra e Rz eram significativas utilizou-se um método proposto por Gaspar et al. (2003) e também já utilizado por outros autores como Carvalhão e Dionísio (2015). O método determina o intervalo de variação significativa a partir do desvio padrão médio composto pelas 6 medições feitas nas amostras de referência. O limite mínimo e máximo desse intervalo é a subtração e adição, respetivamente, do desvio padrão no valor médio.

Figura 3.9 - a) b) Aparelho utilizado para medir a rugosidade em amostras de referência.

3.3.2 Ensaios após aplicação das tintas de *graffiti*

Os ensaios referidos na secção 3.3.1 (caracterização inicial) foram repetidos nas amostras pintadas com tintas de *graffiti*, com a mesma metodologia utilizada na caracterização inicial.

3.3.3 Metodologia de limpeza

Com base em estudos anteriores (Moura 2014; Gomes 2017) e na norma ASTM D7089 (ASTM 2014), estipulou-se uma metodologia de limpeza sequencial que dependia da efetividade de limpeza. Nesses estudos (Moura 2014; Gomes 2017), é feita uma primeira limpeza aquosa com escova de nylon com água fria e seguidamente com água quente. Esta última fase foi também implementada neste trabalho. Na ASTM D7089 (2014) recomenda-se uma limpeza com jato de água quente com pressões entre 50 e 105 bar e temperaturas entre 60 e 83 ºC. Neste caso a pressão recomendada foi conseguida, mas a temperatura máxima atingida pela máquina de pressão foi de 40 ºC, por dificuldades externas ao trabalho. Além disso, na mesma norma recomenda-se a utilização de um removedor químico seguido de um jato a alta pressão. Sendo que esta última técnica não foi estudada nas referências bibliográficas consultadas, decidiu-se espaçar as limpezas de dois em dois dias com o objetivo de avaliar o efeito individual de cada técnica. Por isso, nesta dissertação foi proposta a seguinte metodologia sequencial:

1- Limpeza manual com escova de nylon em água fria, esfregando as superfícies 3 vezes em duas direções ortogonais, procurando manter pressão constante. As amostras com a mesma tinta foram escovadas com escova nylon especifica, de forma a não misturar as cores e a contaminar os provetes com cores diferentes (figura 3.10a).
2- Limpeza manual com escova de nylon em água quente a 40ºC, esfregando igualmente 3 vezes em duas direções ortogonais.
3- Limpeza com removedor químico, seguida de limpeza com escova de nylon em água quente a 40ºC. Como foi observada a dificuldade de remoção das tintas, nesta fase o número de passagens da escova de nylon foi aumentado de 3 para 6 (figura 3.10b).
4- Depois das três primeiras limpezas decidiu-se que a amostra mais limpa das 3 passaria outra vez pelo processo de limpeza com removedor químico, enquanto as restantes duas amostras seriam sujeitas à limpeza com de jato de água quente a 40ºC e à pressão por volta de 100 bar. A limpeza com jato foi feita pelo mesmo método anterior (3 vezes numa direção) (figura 3.10c).

a) b) c)

Figura 3.10 – Processos de limpeza avaliados nas amostras estudadas: a) exemplo de escovagem com escova de nylon e água fria, b) aplicação do removedor numa amostra e c) aplicação do jato de água numa amostra encaixada numa grelha especialmente preparada para o efeito

O removedor químico utilizado, apresentado sob a forma de gel. O gel é descrito na ficha técnica como ecológico, biodegradável e não corrosivo. É recomendado para aplicação em alvenarias em geral, em superfícies completamente secas. A quantidade recomendada pelo fabricante é de $5m^2/l$ (no caso dos provetes com superfície de $0.0025m^2$, a quantidade de produto foi, portanto 5ml). Após aplicação, deve-se deixar atuar o produto entre 5 a 15 minutos e sucessivamente escovar com uma escova rija de nylon. Segundo a ficha técnica, o produto tem um pH ácido com valores compreendidos entre 3.0 - 4.0. É desconhecida a concentração de ácido do produto, já que não vem referenciada na ficha técnica. Refira-se que em outros trabalhos, os produtos ensaiados eram básicos (Gomes 2017).

Figura 3.11 – Removedor de base ácida utilizado.

3.3.4 Ensaios após limpeza

Após cada fase de limpeza, repetiram-se os ensaios de brilho, cor e análise de imagem das superfícies. Após finalizar todas as fases de limpeza consideradas, foi repetido o ensaio de

rugosidade pontual e de perfil (como ilustrado na figura 3.1). O ensaio de rugosidade com perfilómetro não foi realizado devido à dificuldade em conseguir um ensaio válido devido aos danos significativos nas superfícies dos ETICS.

3.4 Síntese do capítulo

Este capítulo permitiu descrever a campanha experimental realizada no âmbito desta dissertação tendo em vista a estudar as características superficiais (brilho, análise de imagem, cor, rugosidade (pontual) e rugosidade (perfil)), na caracterização inicial, após os *graffiti* e após a limpeza, e avaliar a eficácia e nocividade dos processos de limpeza dos *graffiti* efetuados sobre os 12 tipos ETICS alvo de estudo. A tabela 3.3 procura sintetizar o número de ensaios efetuados no decorrer desta dissertação. Além disto foi feita uma análise estatística exaustiva dos resultados da rugosidade pontual, comparando na caracterização inicial entre os vários sistemas de amostras e comparando após pintura e após limpeza com a caracterização inicial.

Tabela 3.3 – Número total de medições feitas em cada ensaio.

	Brilho	**Análise de imagem**	**Cor**	**Rugosidade (Pontual)**	**Rugosidade (Perfil)**
Nº de ensaios/medições por provete	3	1	4	9	2
Nº de provetes por amostras	3	9	9	9	9
Nº de ensaios executados durante o trabalho	6 ou 5*	6 ou 5*	6 ou 5*	2	2
Nº total de ensaios	1476	612	1669	1944	432

* como as duas limpeza química foram feitas sequencialmente no mesmo dia e a limpeza de jato foi feita após a 1ª limpeza de químico, mas em dia diferentes; na limpeza de jato houve tempo para fazer um ensaio extra.

No capítulo 4 são apresentados e analisados os resultados obtidos em cada ensaio desta campanha experimental.

4 Resultados e discussão

4.1 Caracterização inicial e após aplicação do *graffiti*

4.1.1 Quantidade de tinta de *graffiti*

De modo a assegurar que a quantidade de tinta aplicada nos provetes fosse da mesma ordem de grandeza e que a aplicação fosse executada de forma correta, a massa das amostras foi monitorizada, antes e depois da aplicação das tintas, tendo sido medida a área de cada provete. Conforme observado na Tabela 4.1, as amostras têm valores semelhante de tinta depositada, expressos em g/m^2. No caso das amostras azuis o valor médio é de 13,00 g/m^2, cujo valor mínimo e máximo observado foi de 8,62 g/m^2 (1G14) e de 16,15 g/m^2 (11G14), respetivamente. Analisando as amostras prateadas o resultado é análogo ao das amostras azuis, onde o valor médio é de 11,94 g/m^2 e os valores mínimos e máximos são de 6,66 g/m^2 (9G17) e de 15,29 g/m^2 (8G16), respetivamente. Pode-se concluir que a quantidade de tinta *graffiti* variou, em média, entre 12 a 23 g/m^2.

Tabela 4.1 - Quantidade de tinta de spray aplicada por área, para todas as amostras.

Amostra	g/m^2	Amostra	g/m^2	Amostra	g/m^2	Amostra	g/m^2	Amostra	g/m^2	Amostra	g/m^2
1G13	10,00	1G14	8,63	1G15	9,80	1G16	10,00	1G17	9,16	1G18	8,75
2G13	12,16	2G14	13,20	2G15	14,23	2G16	10,77	2G17	9,60	2G18	10,00
3G13	11,54	3G14	13,46	3G15	13,33	3G16	14,12	3G17	11,76	3G18	12,94
4G13	12,82	4G14	13,31	4G15	11,32	4G16	10,73	4G17	9,99	4G18	9,43
5G13	11,04	5G14	13,20	5G15	11,83	5G16	12,21	5G17	11,92	5G18	10,72
6G13	11,20	6G14	16,80	6G15	14,01	6G16	11,69	6G17	10,94	6G18	11,54
7G13	13,96	7G14	12,69	7G15	13,20	7G16	11,70	7G17	14,23	7G18	11,92
8G13	13,46	8G14	12,55	8G15	12,94	8G16	15,29	8G17	13,95	8G18	13,68
9G13	12,00	9G14	12,55	9G15	12,00	9G16	6,92	9G17	6,67	9G18	8,24
10G13	13,73	10G14	13,33	10G15	15,08	10G16	10,94	10G17	12,30	10G18	11,84
11G13	12,69	11G14	16,15	11G15	13,96	11G16	14,12	11G17	13,08	11G18	11,69
12G13	14,12	12G14	11,97	12G15	10,52	12G16	14,23	12G17	13,84	12G18	13,46

Nota: Encontram-se sombreadas os valores máximo e mínimo de cada sistema, representando a variação existente na aplicação do produto

4.1.2 Avaliação da cor

Como referido no capitulo 3.3.1.3, os parâmetros utilizados na avaliação desta propriedade foram L*, a*, b* e C*. O valor L* indica a luminosidade, que pode variar entre 0 (preto) a 100 (branco). Os valores de a* e b* representam as coordenadas cromáticas do vermelho-verde (+a* indica vermelho e –a* verde) e do amarelo-azul (+b* indica o amarelo e –b* o azul), respetivamente. O croma ou saturação da cor (C*) pode ser calculado a partir dos valores de a* e b*.

4.1.2.1 Antes da aplicação de tinta de spray (referência)

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4.2 (valores médios), estes ETICS possuem uma cor clara (L* mínimo de 71,71, de um máximo possível de 100), e baixo valor de croma (C*

varia de 1 a 5, num máximo de 100), com um espectro de a* e b* correspondente a uma tonalidade acinzentada, com uma certa tendência para o amarelo (valores de b* positivos). As amostras que têm esse valor de b* mais positivo, são as correspondentes aos sistemas 8G e 12G. No parâmetro a*, os valores estão muito perto do considerado branco perfeito (a*=0,0). Não foram incluídos nos anexos os valores individuais dos parâmetros da cor devido à elevada quantidade de resultados (um total de 432 medições incluindo as amostras de referência, azuis e prateadas).

Tabela 4.2 - Valores médios e respetivos desvios-padrão das coordenadas cromáticas L*, a* e b* e croma (C*) para os diferentes ETICS estudados (amostras de referência).

Tipo de ETICS	L*	a*	b*	C*
1G	77,55±1.69	-0,16±0,26	2,10±0,27	2,11±0,27
2G	80,07±4.74	-0,36±0,28	1,26±0,21	1,32±0,24
3G	76,27±3.48	-0,38±0,12	4,20±0,27	4,22±0,28
4G	80,62+1.65	0,38±0,02	3,63±0,07	3,65±0,07
5G	71,71±3,16	0,79±0,09	3,94±0,17	4,02±0,17
6G	76,56±2,88	0,32±0,06	3,75±0,31	3,77±0,31
7G	77,95±2,86	0,09±0,05	3,75±0,25	3,75±0,24
8G	77,51±1,43	0,05±0,06	4,83±0,40	4,83±0,40
9G	83,13±3,06	0,15±0,07	1,70±0,21	1,71±0,21
10G	78,58±2,96	0,57±0,04	4,04±0,21	4,08±0,21
11G	81,03±2,76	0,30±0,06	4,15±0,19	4,16±0,19
12G	80,62±2,66	0,28±0,10	4,94±0,36	4,95±0,35

Procurou-se igualmente calcular a diferença da cor total existente (ΔE^*_{ab}) entre os diferentes sistemas de ETICS estudados (Tabela 4.3), ou seja, foi comparado cada sistema ETICS com os restantes. As amostras 11G e 12G têm valores similares de diferença de cor total (ΔE^*_{ab} =0,89); esta situação poderá ser explicada pelo facto de terem a mesma camada base, primário e acabamento final. Para os sistemas de ETICS com a mesma camada de acabamento, ou seja, 10G, 11G e 12G observa-se uma maior diferença de cor da amostra 10G em relação as restantes (diferenças entre 2 e 5 unidades); uma das razões para tal facto poderá estar associado à variação da pigmentação na camada de acabamento.

As amostras 1G, 2G e 3G apresentam reduzidas diferenças de cor total, apesar de existirem algumas variações ao nível dos materiais utilizados na camada de acabamento final, nomeadamente o uso ou não de tinta acrílica e de revestimento aquoso. As amostras 4G e 5G, apesar de terem o mesmo isolante e camada base, têm variações de cor percetíveis a olho nu (valor de ΔE^*_{ab} >5), justificadas pelo acabamento de cada amostra, 4G com um acabamento em cal aérea e 5G em tinta de acrílico. De facto, nas amostras 4G é utilizada cal aérea e nas amostras 5G tinta acrílica.

As amostras 6G, 7G e 8G apresentam variações de cor não percetíveis a olho nu (valor de ΔE^*_{ab} <5). As amostras 6G e 7G têm o mesmo isolante térmico, camada base e primário, diferindo

no acabamento final. A amostras 8G têm a mesma camada base e primário, e também têm o mesmo acabamento final que a amostra 6G.

Outros dados relevantes que se pode observar na Tabela 4.3, é que a amostra 5G tem valor de ΔE^*_{ab} >5.0 em relação a quase todas as amostras, com exceção das amostras 3G (ΔE^*_{ab} =4,71) e 6G (4,88). Uma das razões pode ser a composição desta amostra, que é diferente de qualquer outra. A amostra 9G diferencia-se das restantes por ser a única com acabamento em tinta de silicato e este facto faz-se notar na variação de cor total, também esta é a amostra menos rugosa do conjunto

Tabela 4.3 – Variações médias de cor total entre sistemas de ETICS.

Tipo de ETICS	1G	2G	3G	4G	5G	6G	7G	8G	9G	10G	11G
1G											
2G	2,66										
3G	2,47	4,81									
4G	3,46	2,54	4,45								
5G	6,20	8,85	4,71	8,92							
6G	1,98	4,35	0,88	4,06	4,88						
7G	1,71	3,30	1,81	2,68	6,28	1,41					
8G	2,74	4,42	1,46	3,35	5,91	1,46	1,17				
9G	5,60	3,14	7,32	3,17	11,65	6,88	5,57	6,43			
10G	2,31	3,29	2,50	2,09	6,87	2,05	0,84	1,43	5,14		
11G	4,06	3,12	4,81	0,67	9,33	4,48	3,11	3,59	3,23	2,47	
12G	4,20	3,78	4,47	1,31	8,98	4,23	2,93	3,12	4,10	4,83	0,89

Nota: Encontram-se sombreadas as situações em que se obtiveram diferenças de cor total superiores a 5 unidades.

4.1.2.2 Após aplicação da tinta de graffiti azul

A aplicação da tinta de spray azul sobre os diferentes sistemas de ETICS causou, como seria expectável, uma alteração significativa nos valores CIELAB (Figura 4.1), nomeadamente o L* diminuiu, o a* aumentou e o b* diminuiu. De qualquer forma e apesar das diferenças no acabamento dos sistemas de ETICS, a cor obtida após pintura tem valores muito semelhantes entre sistemas de ETICS. Como se consegue observar nos valores médios da Tabela 4.4, o valor da luminosidade diminui para mais de metade. O azul obtido não é muito intenso com valores médios de b* e a*, de -22,82 ± 0,58 e 8,07±0,26, respetivamente.

Relativamente à variação total de cor após a aplicação da tinta *graffiti*, em nenhum sistema de ETICS foi obtido ΔE^*_{ab} >5 em relação a outro dos sistemas estudados (Tabela 4.5). Por isso, pode dizer-se que com aplicação da tinta azul as amostras estão menos dispersas em termos cromáticos relativamente ao que acontecia nas amostras de referência (Tabela 4.2).

Tabela 4.4 - Valores médios e respetivos desvios-padrão das coordenadas cromáticas L*, a* e b* e croma (C*), após aplicação das tintas de spray azul para os diferentes tipos de ETICS.

Tipo de ETICS	L	a*	b*	C*
1G	31,40±0,25	7,71±0,20	-21,99±0,51	23,31±0,54
2G	30,76±0,42	7,72±0,12	-21,98±0,48	23,30±0,49
3G	29,19±0,27	8,03±0,16	-22,61±0,43	23,99±0,45
4G	30,90±0,64	7,68±0,21	-22,04±0,67	23,34±0,70
5G	28,90±0,39	8,17±0,21	-23,12±0,57	24,52±0,60
6G	28,51±0,33	8,12±0,25	-22,97±0,66	24,36±0,70
7G	28,92±0,43	8,27±0,16	-23,39±0,47	24,81±0,50
8G	28,79±0,62	8,13±0,21	-22,97±0,59	24,36±0,62
9G	31,59±0,33	7,76±0,13	-22,16±0,41	23,48±0,43
10G	28,39±0,48	8,34±0,13	-23,28±0,47	24,73±0,49
11G	28,60±0,27	8,29±0,14	-23,27±0,37	24,70±0,40
12G	28,56±0,27	8,41±0,11	-23,52±0,33	24,98±0,34

Tabela 4.5 – Variações médias de cor total entre sistemas de ETICS após aplicação da tinta de spray azul.

Tipo de ETICS	1G	2G	3G	4G	5G	6G	7G	8G	9G	10G	11G
1G											
2G	1,08										
3G	3,06	3,34									
4G	1,69	2,49	1,96								
5G	3,25	3,46	1,24	2,07							
6G	3,36	3,42	1,07	2,39	0,64						
7G	2,99	3,13	0,70	2,00	0,73	0,47					
8G	3,78	4,10	0,86	2,45	1,17	1,15	1,09				
9G	0,54	1,07	3,51	2,06	3,56	3,70	3,36	4,20			
10G	3,66	3,78	1,26	2,56	0,57	0,41	0,78	1,03	3,99		
11G	3,50	3,67	0,90	2,36	0,61	0,40	0,55	0,76	3,87	0,36	
12G	4,04	4,34	1,17	2,69	1,18	1,19	1,26	0,34	4,44	4,38	0,79

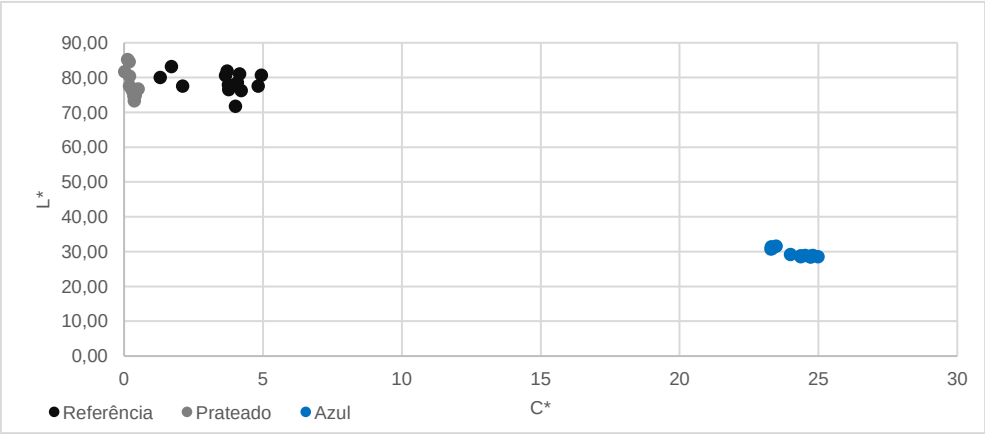


Figura 4.1 – Comparação das amostras de referência, pintadas com tinta de spray azul e prateada, usando como fatores a luminosidade e o croma (C*).

4.1.2.3 Após aplicação da tinta de graffiti prateada

Tal como na aplicação da tinta de spray azul, a aplicação da tinta prateada sobre os diferentes sistemas de ETICS causou igualmente uma alteração drástica nos parâmetros CIELAB (Tabela 4.6 e Figura 4.1).

Conforme a Tabela 4.6, e comparando com a Tabela 4.2, verifica-se que, as amostras prateadas apresentam, em geral, uma redução de 3,71% da luminosidade (passando, em termos médios, de 80,83 para 77,83). Os parâmetros a*, b* e croma (C*) em todas as amostras aproximaram-se do 0, portanto existe uma diminuição do croma comparando com as amostras de referência.

Tabela 4.6 – Valores médios e desvios-padrão das coordenadas cromáticas L*, a* e b* e croma (C*), para as amostras após aplicação da tinta de spray prateada.

Tipo de ETICS	L*	a*	b*	C*
1G	84,50±2,54	0,05±0,05	0,18±0,15	0,19±0,16
2G	81,64±1,63	0,02±0,03	-0,01±0,12	0,11±0,07
3G	77,54±1,16	-0,03±0,03	-0,19±0,11	0,20±0,11
4G	80,41±1,88	-0,06±0,03	-0,18±0,10	0,20±0,11
5G	76,20±1,69	-0,09±0,03	-0,41±0,08	0,42±0,08
6G	75,93±1,53	-0,09±0,02	-0,41±0,10	0,42±0,10
7G	76,73±1,41	-0,10±0,02	-0,50±0,06	0,51±0,07
8G	76,28±2,09	-0,07±0,01	-0,29±0,12	0,30±0,12
9G	85,14±1,64	0,05±0,02	0,12±0,11	0,15±0,07
10G	74,59±1,99	-0,05±0,03	-0,36±0,13	0,37±0,13
11G	74,91±1,54	-0,06±0,05	-0,40±0,09	0,40±0,09
12G	73,31±1,99	-0,05±0,04	-0,36±0,07	0,37±0,07

Contrastando com o acontecido com a cor azul, com a aplicação da tinta prateada, existem mais amostras com ΔE^*_{ab} >5 (Tabela 4.7). Esta variação é essencialmente causada pela variação de luminosidade (ΔL* médio=3,40) e não pela variação do croma já que neste parâmetro os valores são muito similares.

Nas amostras 1G e 2G a aplicação do spray prateado, provocou um aumento nas variações total cor (Tabela 4.7) em relação aos restantes sistemas (valor de ΔE^*_{ab} >5). Estas amostras têm o mesmo acabamento final em tinta de acrílico.

A amostra 4G tem valores de ΔE^*_{ab} perto de 5 unidades em comparação com os restantes sistemas o que pode ser justificado por ter um acabamento diferente das restantes amostras.

As amostras 5G, 6G, 7G e 8G têm valores ΔE^*_{ab} <5, ou seja, têm variações de cor não percetíveis a olho nu, o mesmo aconteceu nas amostras com tinta *graffiti* azul. À semelhança das amostras azuis, pode-se justificar pela constituição das amostras, tendo o mesmo acabamento primário e final, exceto a amostra 7G que varia no acabamento final.

À semelhança do verificado nas amostras de referência, o conjunto 11G e 12G apresenta valores de ΔE^*_{ab} <5. Com a aplicação da tinta de spray prateada, a amostra 9G, obteve valores de ΔE^*_{ab} superiores a 5 unidades com quase todos os sistemas, exceto os sistemas 1G e 2G. É importante

referir que as amostras 1G, 4G e 9G são as amostras com menores valores de rugosidade do conjunto de ETICS, o que poderá influenciar tanto na cor como no brilho (valores de rugosidade a serem analisados na seção 4.1.4).

Tabela 4.7 - Variações médias de cor total entre tipos de ETICS após aplicação da tinta de spray prateada.

Tipo de ETICS	1G	2G	3G	4G	5G	6G	7G	8G	9G	10G	11G
1G											
2G	2,99										
3G	7,27	5,05									
4G	4,40	2,77	3,02								
5G	8,56	6,18	1,81	4,24							
6G	8,74	6,27	1,81	4,48	0,57						
7G	7,95	5,53	1,05	3,69	0,90	0,83					
8G	8,66	6,46	1,48	4,31	1,17	1,17	1,17				
9G	0,81	3,56	8,01	5,11	9,23	9,43	8,65	9,39			
10G	10,13	7,64	3,11	5,84	1,63	1,40	2,21	1,94	10,81		
11G	9,82	7,36	2,72	5,52	1,40	1,10	1,87	1,56	10,52	0,43	
12G	11,56	9,13	4,35	7,22	3,10	2,88	3,63	2,98	12,26	4,56	1,79

Nota: Encontram-se sombreadas as situações em que se obtiveram diferenças de cor total superiores a 5 unidades.

Em conclusão, a variação de cor superior a 5 unidades (de 5 a 12 unidades) pode estar associada ao acabamento, as amostras 9G e 4G que são as únicas com acabamento em silicato e em cal aérea, respetivamente. Adicionalmente, esta variação pode também ser influenciada pela rugosidade das amostras que acontece nas amostras 1G, 2G, 4G e 9G (tópico a desenvolver na secção 4.1.4).

4.1.3 Avaliação do brilho

4.1.3.1 Antes da aplicação de tinta de spray (referência)

Na avaliação do brilho os parâmetros estatísticos considerados foram a média e o desvio padrão. À semelhança da avaliação da cor, não foram incluídos nos anexos os valores individuais dos parâmetros do brilho devido à quantidade de resultados (um total 324 medições contando com as amostras de referência, azuis e prateadas), no entanto os valores médios e desvios padrão encontram-se na tabela no Anexo A.2.

De acordo com a Figura 4.2, as amostras 1G (1,94 GU± 0,11 GU) e 2G (1,94 GU± 0,08 GU) têm semelhantes médias e desvios padrão. Tal facto poderá estar associado a estas amostras apresentarem a mesma tinta acrílica na camada de acabamento. Já o sistema 3G tem um acabamento diferente e essa diferença reflete-se no menor valor do brilho.

Os sistemas 6G, 7G e 8G têm variações de média de 4,8% entre si. Estes sistemas, têm o mesmo acabamento primário e no caso da amostra 7G só difere no tipo de tinta acrílica. Os sistemas 7G e 8G têm o mesmo desvio padrão (0,06 GU), que é 0,03 GU no caso do sistema 6G. À

semelhança do que acontece na cor, a amostra 5G está isolada deste grupo apesar de ter o mesmo acabamento.

Os sistemas 11G e 12G que têm o mesmo acabamento, apresentam exatamente a mesma média e desvio padrão em termos de parâmetro brilho. À semelhança do verificado anteriormente em termos de cor, também no brilho o sistema 10G, que tem o mesmo acabamento, também se distingue do conjunto anterior.

Os sistemas 4G e 9G são os que têm os valores mais elevados de brilho, um valor 41% e 34%, respetivamente, maiores que o valor médio do conjunto de sistemas. Este facto pode ser justificado por serem amostras que se distinguem das restantes no tipo de acabamento e também por serem as amostras menos rugosas do conjunto (como se verá mais à frente na secção 4.1.4).

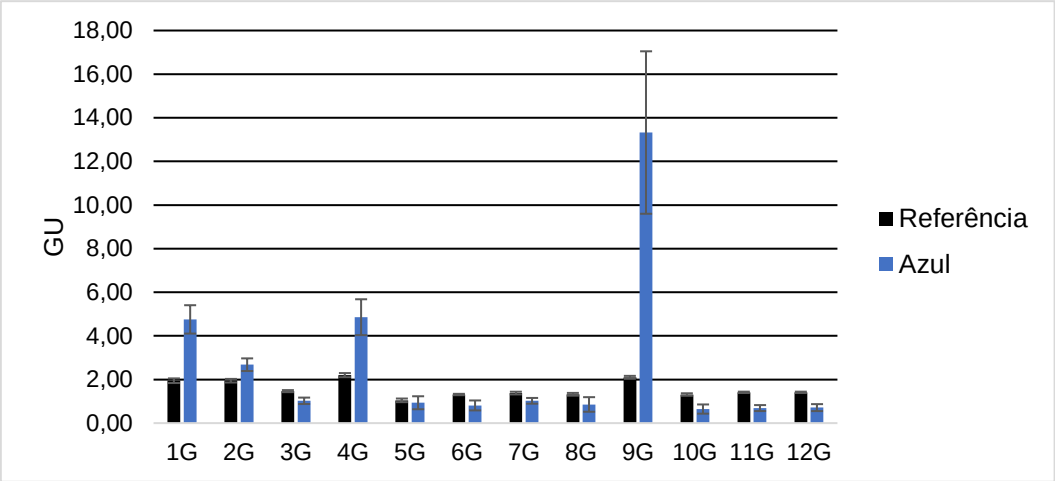


Figura 4.2 – Valor médios e desvios padrão de brilho nas amostras de referência e das amostras azuis.

4.1.3.2 Após aplicação da pintura azul

A aplicação da tinta azul fez variar o brilho das superfícies. De facto, em algumas amostras fez aumentar este parâmetro e em outras diminuir (Figura 4.2). As amostras 1G e 2G são sistemas muito semelhantes, o primeiro só tem como acabamento uma tinta acrílica e o segundo tem como acabamento um revestimento aquoso texturado e seguido da mesma tinta acrílica. Isto reflete-se após a aplicação da tinta de spray onde o primeiro sistema duplica os valores de brilho relativamente ao segundo. Este maior aumento no primeiro sistema pode ser justificado por apresentar valores de rugosidade muito inferiores aos do sistema 2G. Já a amostra 3G que tem como acabamento o mesmo revestimento aquoso texturado e uma rugosidade similar a 2G diminui o brilho com a aplicação da tinta azul.

As amostras 6G, 7G e 8G diminuem, no máximo, 38% no brilho após a aplicação da tinta azul, com variações na média entre os sistemas de 21%. O desvio padrão aumenta, o que pode ser justificado pela rugosidade das amostras que dificulta a uniformidade quando é aplicada a tinta de *graffiti*. Já as amostras 11G e 12G, que apresentam a mesma média e desvio padrão, também diminuem 50% na média do brilho e aumentam o desvio padrão.

As amostras 4G e 9G, continuam a ser casos isolados, onde a primeira duplica o valor de brilho e a segunda aumenta para 13,32 GU. Tendo as duas amostras acabamento finais diferentes das restantes.

4.1.3.3 Após aplicação da pintura prateada

A aplicação da tinta prateada fez mudanças significativas no valor médio do brilho, como esperado, e em todos os sistemas se verificou o seu aumento, diferente do ocorrido após aplicação da cor azul. A razão pelo aumento dos valores no conjunto todo pode dever-se a que a cor prateada é altamente brilhante. Começando pelos sistemas 1G e 2G, à semelhança da aplicação da cor azul, o brilho da amostra 1G aumentou o dobro relativamente ao sistema 2G, com valores médios de 27,17 GU e de 14,54 GU, respetivamente. Tal como acontecido com as amostras azuis, nos sistemas 6G, 7G e 8G verificou-se um aumento do brilho, tendo as amostras valores médios similares (com variações de 8%), com um aumento no brilho de aproximadamente 330%.

Os sistemas 11G, 12G e 13G tiveram o mesmo comportamento que o conjunto anterior, com um aumentar médio do brilho de aproximadamente 750% e a variação entre sistemas de 3%.

O sistema com cal aérea no acabamento final, 4G, tem um aumento no brilho de 253%, já o sistema de tinta de silicato, 9G, teve um aumento de 1653% e uma variância de 15%, a mais elevada em absoluto.

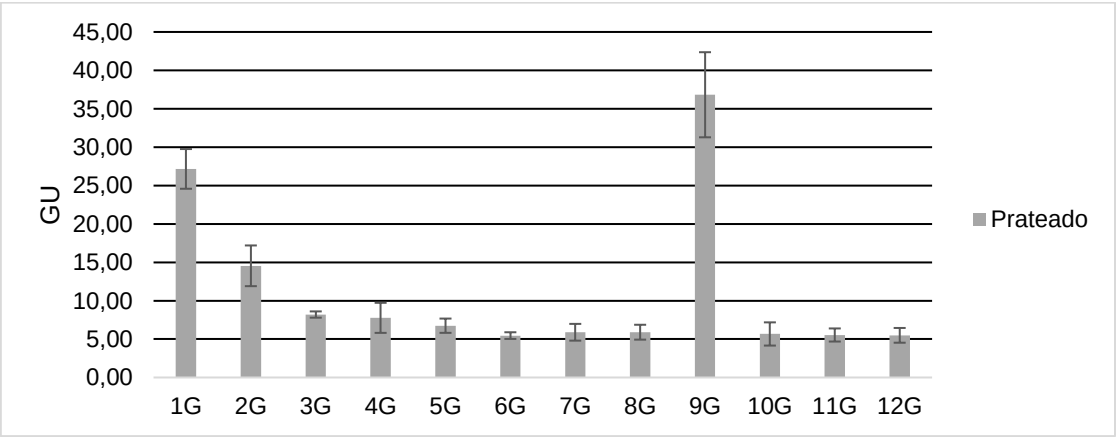


Figura 4.3 – Valor médios e desvios padrões de brilho após aplicação de spray prateado.

4.1.4 Avaliação da rugosidade (pontual)

4.1.4.1 Antes da aplicação de tinta de spray (referência)

À semelhança do brilho, para avaliar a rugosidade pontual utilizou-se as médias das 9 medidas efetuadas por provetes e o desvio padrão associado. Após a realização do ensaio, observou-se desvio padrão de 30% do valor médio, algo que faz sentido já que existe a possibilidade de variação de rugosidade pela superfície.

Para a correta análise desta característica e por se terem valores de desvio padrão elevados (Figura 4.4), que poderiam induzir a interpretações erróneas, utilizou-se o Teste t com a hipóteses de igualdade ou com uma diferença insignificativa das médias de rugosidade. Para esta hipóteses utilizou-se um intervalo de confiança de 95% (Tabela 4.8). No anexo A.8 encontra-se os testes t feitos para todas as amostras.

Com este teste conclui-se que primeiro, fazendo a hipótese de igualdade da média da rugosidade pontual do sistema 1G com os restantes, verifica-se que em todos os casos essa hipótese é rejeitada, ou seja, pode-se considerar valores médios diferentes das restantes. Esta mesma hipótese só é aceite nas amostras 4G e 9G quando são comparados entre si e que são as amostras com menor rugosidade (0,467 e 0,87 mm, respetivamente).

Nas amostras 5G, 6G, 7G e 8G pode-se aceitar a hipótese de igualdade dos valores médios de rugosidade, exceto na combinação entre a amostra 6G com a amostra 8G.

As amostras 10G, 11G e 12G, também se pode aceitar a hipótese de igualdade entre si dos valores médios de rugosidade pontual. Nas amostras 10G e 12G também pode ser aceite a hipótese de igualdade dos valores médios de rugosidade pontual combinando com as amostras 5G, 6G, 7G e 8G (acabamento final em tinta acrílica), exceto as amostras 10G com a amostras 6G.

Concluindo, os valores das amostras de referência variam entre 0,4 a 1mm e as amostras 1G, 4G e 9G são as amostras menos rugosas. Nas amostras com acabamento acrílico não se pode considerar com diferentes rugosidades entre si, exceto a 3G (a menos rugosa das acrílicas).

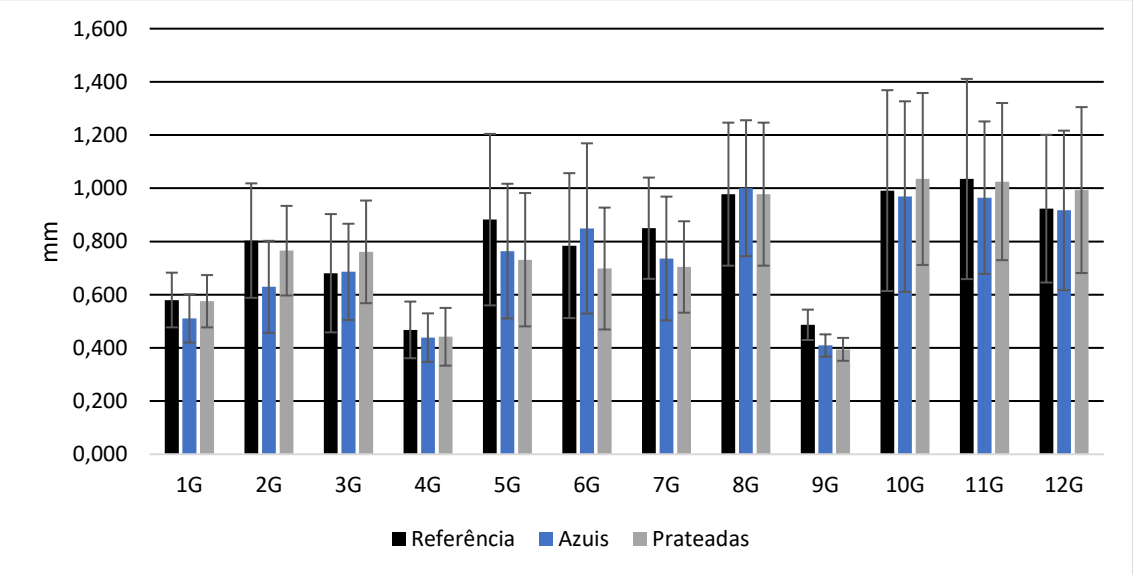


Figura 4.4 – Valor médio e desvios padrão de rugosidade dos sistemas antes de ser pintados (referência) e após aplicação das tintas azul e prateada.

Tabela 4.8 – Resultado da aplicação dos testes estatísticos t-student relativo aos valores médios de rugosidade pontual entre amostras de referência.

HIPÓTESES DE IGUALDADE: A: ACEITO R: REJEITO

	Amostras de referência											
Tipo de ETICS	**1G**	**2G**	**3G**	**4G**	**5G**	**6G**	**7G**	**8G**	**9G**	**10G**	**11G**	**12G**
1G												
2G	R											
3G	R	R										
4G	R	R	R									
5G	R	A	R	R								
6G	R	A	A	R	A							
7G	R	A	R	R	A	A						
8G	R	R	R	R	A	R	A					
9G	R	R	R	A	R	R	R	R				
10G	R	R	R	R	A	R	A	A	R			
11G	R	R	R	R	R	R	R	A	R	A		
12G	R	A	R	R	A	A	A	A	R	A	A	

R- Significa que os valores médios de rugosidade pontual são significativamente diferentes; A- Significa que os valores médios de rugosidade pontual não são significativamente diferentes

4.1.4.2 Após aplicação da pintura azul

Após aplicação da tinta de spray azul e realização das medições de rugosidade pontuais, utilizou-se a mesma análise estatística que na comparação entre amostras de referência. Nesta análise e comparando com as amostras de referência verificou-se que esta hipótese de igualdade dos valores médios de rugosidade pontual é rejeitada nos sistemas 1G, 2G, 7G e 9G (Figura 4.4 e Anexo A.8). Ou seja, pode-se afirmar que as amostras 1G, 2G, 7G e 9G são as amostras que com a aplicação da tinta alteraram a sua rugosidade. No caso das amostras 1G e 9G, tiveram uma redução de 11,9% e de 6,2% nos valores de rugosidade pontual, respetivamente; tal facto poderá estar associado a se tratar de superfícies inicialmente muito pouco rugosas. Nas amostras 2G e 7G houve uma diminuição de 21,7% e 13,4%, respetivamente. Nas amostras restantes, não se pode concluir uma alteração de rugosidade.

4.1.4.3 Após aplicação da pintura prateada

À semelhança da aplicação de spray azul, as amostras também não alteram muitos os valores de rugosidade pontual comparativamente aos obtidos nas amostras de referência (variação média de 8,4%) (Anexo A.8). Utilizando o mesmo método de análise verificou-se que só nos sistemas 7G e 9G se pode rejeitar a hipótese de igualdade dos valores médios de rugosidade pontual. Contudo, utilizando este tipo de análise e comprando a amostra 7G prateada com as amostras 5G, 6G e 8G, verificou-se que a hipótese só é rejeitada com a amostra 8G. Ou seja, as amostras de 5G, 6G e 7G continuam a ter uma rugosidade semelhante.

O *graffiti*, tanto o azul como o prateado, no geral não fazem variar a rugosidade. No entanto a incerteza é grande, apesar de ser visível a tendência para diminuir os valores desta propriedade.

4.1.5 Avaliação da rugosidade (perfilómetro)

4.1.5.1 Antes da aplicação de tinta de spray (referência)

Ao analisar a rugosidade através do uso de um perfilómetro de contacto utilizou-se os parâmetros Ra (µm) e Rz (µm) que, como referido no capítulo 3.3.2.5, são:

- Ra: média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (yi), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição;
- Rz: média aritmética dos 5 valores da rugosidade parcial Zi que é definida como a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maiores afastamentos (acima e abaixo da linha média), existentes dentro de um comprimento de amostragem le. Graficamente, este valor representa a altura entre os pontos máximo e mínimo do perfil, no comprimento de amostragem.

Conforme a Figura 4.5, à primeira vista pode observar-se 3 sistemas ETICS que se distinguem dos restantes, pelos valores mais baixos de Ra e Rz (com Ra abaixo de 30 µm e Rz abaixo de 110 µm). Estes três sistemas são a 1G, 4G e 9G que se distinguem da média em Ra de 52,2%, 36,7% e 57,6%, respetivamente, e em Rz de 48,7%, 36,9% e 52,6%, respetivamente. O sistema 1G tem um acabamento com um primário aquoso, complementado com uma tinta acrílica, já amostras 4G têm um acabamento em cal aérea e a amostras 9G tem um primário de revestimento aquoso com silicato e um acabamento final em tinta de silicato. Estes resultados estão concordantes com a rugosidade pontual, onde os sistemas 1G, 4G e 9G tem os valores mais baixos de rugosidade. No resto das amostras, não se consegue fazer uma associação entre as semelhanças de valores e a constituição das amostras. As amostras menos rugosas, também pontualmente, são as que apresentam menores valores de Ra e Rz. De facto, estas amostras são as de acabamento liso.

Na Figura 4.5 também se pode observar que existe uma relação linear positiva entre Ra e Rz, ou seja, ao aumentar Ra, Rz também aumenta. As amostras têm desvios padrão de Ra e Rz entre 10% a 30% da média (valores estão no anexo A.10).

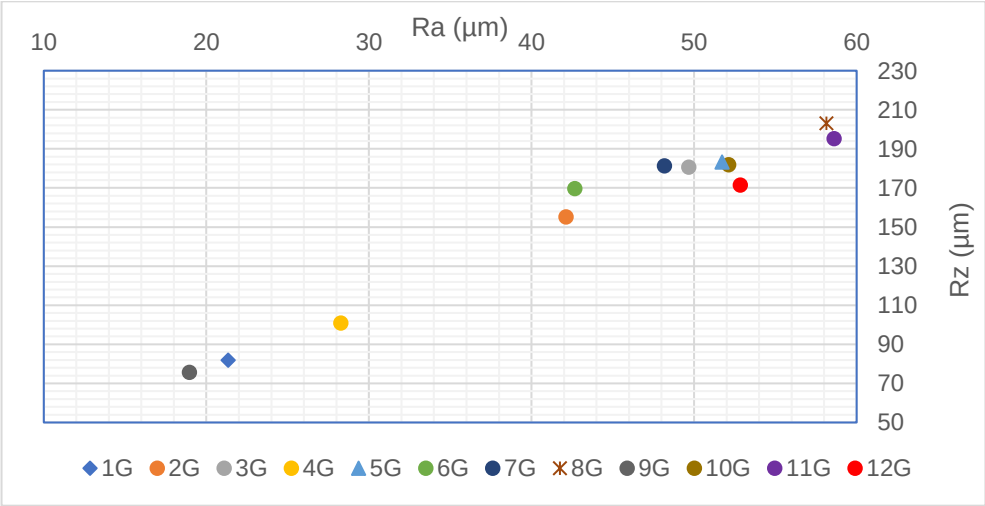


Figura 4.5 – Valores médios de Ra e Rz nas amostras de referência (brancas).

4.1.5.2 *Após aplicação da pintura azul e prateada*

Ao aplicar a tinta azul, houve diminuição geral tanto de Rz como de Ra. A única exceção foi o sistema 6G em que se verificou aumento dos valores de Rz e Ra, que aumentaram 2,5% e 13,12%, respetivamente. Ao observar a Figura 4.5 confirma-se a afirmação anterior e pode-se verificar que as amostras estão menos dispersas no gráfico.

Os sistemas que tiveram maior redução com a aplicação da tinta azul nos valores de Ra e Rz foram os sistemas 2G e a 9G. As amostras 2G reduziram 41% no Ra e 44,4% no Rz, aproximando-as das amostras que antes estavam isoladas e não tinham acabamento texturado. O sistema 9G isolou-se dos restantes diminuindo 39% em Ra e 40,6% em Rz. O resto dos sistemas aproximaram-se uns dos outros, diminuindo entre 10% a 27% no Rz e Ra, respetivamente.

O intervalo dos valores de desvios padrão aumentou um pouco, sendo o intervalo de 11% a 35% da média de Ra, e no caso de Rz os valores serem 11% a 41% da média (valores em anexo A.10).

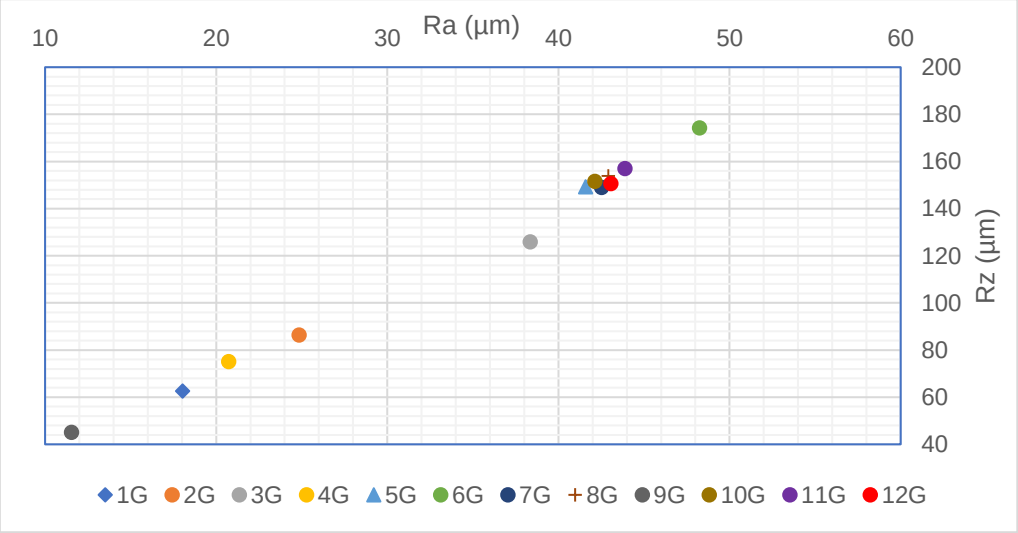


Figura 4.6 – Valor médio de Ra e Rz nas amostras azuis.

À semelhança da aplicação da tinta azul, ao pintar de cor prateada todas as amostras diminuem em Rz e Ra, exceto a amostra 6G. Em geral, todas as amostras reduzem menos que quando aplicada a tinta azul. Como acontece também na tinta azul as amostras 2G foi a que mais diminui-o os seus valores médios, neste caso a redução foi de 29,5% em Ra e 31% em Rz.

De acordo com a Figura 4.7, as amostras 11G e 12G aproximam-se, tanto em Rz (aproximadamente 154µm) como em Ra (aproximadamente 43µm), podendo assim a tinta prateada ter nivelado a superfície. As amostras 6G, 7G e 8G também tiveram uma tendência em aproximar os seus valores de rugosidade, mas mesmo assim estão longe umas das outras.

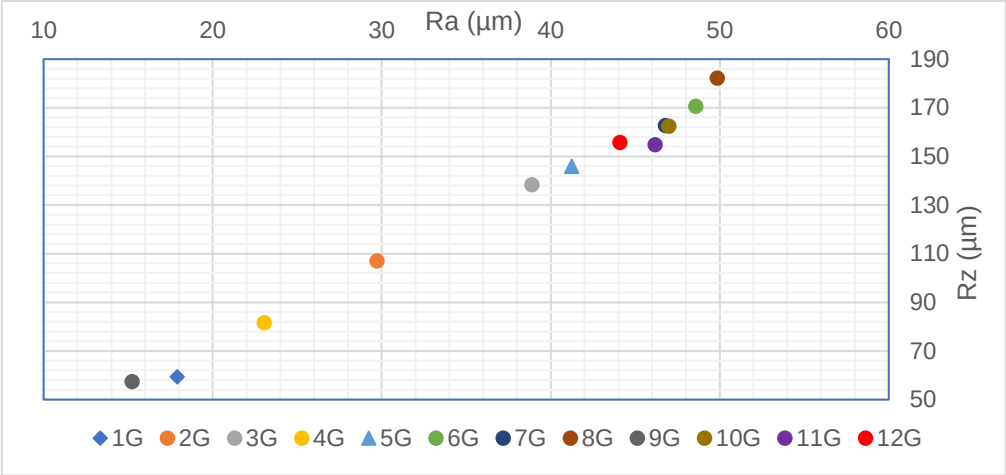


Figura 4.7 – Valor médio de Ra e Rz nas amostras prateadas.

Ao contrário da rugosidade pontual, a aplicação de ambas tintas na superfície suaviza a rugosidade com perfil nas amostras, e em termos numéricos faz diminuir Ra e Rz.

4.1.6 Síntese da caracterização inicial

Ao fazer uma síntese da caracterização inicial, pode-se destacar da análise da cor nas amostras de referência que os sistemas 4G e 9G são os que mais se diferenciam dos restantes, já que têm brilho superior as restantes e valores de rugosidade inferiores a todas as amostras exceto a amostra 1G. Após aplicação da tinta azul existe aproximação de todas as cores, isto é, não há nenhum sistema que se distinga dos restantes e que essa diferença seja percetível ao olho humano. Ao aplicar a tinta prateada verifica-se que existem 3 sistemas que se diferenciam dos restantes, são estes: 1G, 2G e 9G. Os sistemas 1G e 2G são muito semelhantes em termos de constituição tendo o mesmo acabamento final em tinta de acrílico, já a amostra 9G tem um acabamento em silicato único e diferente de todas as restantes. Estas 3 amostras têm valores de cor semelhantes entre si.

Quanto ao brilho, as amostras 1G e 2G têm valores iguais e desvios padrões muito semelhantes. Já as amostras 6G, 7G e 8G, que apresentam constituição semelhante, também têm valores de brilho e desvios padrões parecidos. As amostras que se diferenciam das restantes são as amostras 4G e 9G, ambas as amostras têm acabamentos diferentes de todas as restantes, nomeadamente são de cal aérea e tinta de silicato, respetivamente. É de acrescentar a esta análise, que as amostras 11G e 12G têm valores de brilho iguais. Por último, como acontece na cor a amostra 5G é diferente das restantes, tendo um valor de brilho inferior a todas as outras.

Ao aplicar a tinta *graffiti* de cor azul, as amostras dos sistemas 1G, 4G e 9G aumentam drasticamente o valor de brilho; estas três sistemas são os que apresentam menor rugosidade pontual. Este aumento também pode estar relacionado com a interação da tinta com o acabamento. Ao aplicar a tinta prateada, à semelhança da aplicação da tinta azul, as amostras 1G e 9G aumentam significativamente o seu valor de brilho, diferenciando-se das restantes

amostras. É relevante destacar que a amostra 2G, com o mesmo acabamento final da 1G, aumento o seu brilho em 12 GU (metade do aumento da 1G), variação particularmente diferente das restantes amostras.

Ao verificar a rugosidade pontual, pode-se destacar qua as amostras dos sistemas 1G, 4G e 9G são significativamente diferentes das restantes e são as amostras com valores mais baixos de rugosidade pontual (valores médios variam de 0,467mm a 0,580mm). As amostras 5G, 6G, 7G e 8G têm valores muito semelhantes entres si; amostras estas que têm um acabamento muito semelhante em acrílico. Existe outro grupo de amostras com um acabamento e valores semelhantes; esse grupo é composto pelos sistemas 10G, 11G e 12G. Ao aplicar a tinta *graffiti* azul as amostras tiveram valores de rugosidade parecidos aos registados nas amostras de referência, com exceção das amostras dos sistemas 1G, 2G, 7G e 9G. Em todas elas a aplicação desta tinta fez diminuir a rugosidade (percentagem médio de redução é de 15,7%). À semelhança da aplicação da tinta azul, a aplicação da tinta prateada fez reduzir a rugosidade dos sistemas 7G e 9G. As amostras do sistema 7G, mesmo assim, continuam com valores semelhantes as amostras dos sistemas 5G, 6G e 8G.

Por último, analisando a rugosidade com o perfilómetro, as amostras dos sistemas 1G, 4G e 9G voltam a ter valores diferentes das restantes, neste caso com valores de Ra e Rz muito inferior às restantes. Ao aplicar a cor azul houve uma redução geral de Ra e Rz exceto na amostra 6G, este mesmo facto repete-se ao aplicar a cor prateada. É relevante destacar, que ao aplicar a cor azul as amostras dos sistemas 5G, 7G, 8G, 10G e 11G ficam muito semelhantes entre si em termos de valores de rugosidade.

À semelhança da rugosidade pontual, as amostras 1G, 2G, 7G e 9G, nas amostras azuis, e 7G e 9G, nas amostras prateadas, reduzem os valores após aplicação da tinta *graffiti*, ficando, assim, uma superfície mais uniforme.

Fazendo agora uma comparação com estudo anteriores, como Simonot and Elias 2003 e Yonehara et al. 2004, onde afirma que em amostras com maior rugosidade média (Ra maior) tendem a ter maior valores de luminosidade e saturação (C*). Neste caso, o neste estudo não está concordante com esta afirmação, já que as amostras 1G, 4G e 9G que são as amostras menos rugosas tem maior valores de luminosidade e menor valor de croma. Já em termos de brilho está concordante, ou seja, o brilho é maior nas amostras menos rugosas.

4.2 Eficácia e nocividade dos processos de limpeza

4.2.1 Considerações gerais

Neste subcapítulo descrevem-se alguns aspetos importantes observados durante e após a limpeza dos grafitti. Começando com a limpeza com escova nylon e água fria observou-se que, nas amostras prateadas, a água acumulada durante a limpeza ficou com algumas partículas em suspensão. Esta observação volta-se a repetir na limpeza com escova de nylon e água quente, sem que os resultados pudessem ser considerados satisfatórios.

No caso da limpeza com removedor químico observou-se que principalmente as amostras com EPS eram bastante sensíveis a estes produtos químicos, que degradavam o EPS podendo chegar a criar lacunas ou até a o fazer desaparecer (Figura 4.8 a) e b)). O que este resultado indicia é que, em ETICS com fissuras ou defeitos superficiais, pode-se remover o impermeabilizante ao utilizar um removedor químico para a limpeza de *graffiti*, influenciando assim os benefícios da camada isolante de ETICS.

Na opção de limpeza com jato de água, verificou-se que ao realizar esta limpeza é muito provável danificar a superfície dos ETICS, sendo um aspeto a ter em conta quando se vai remover o *graffiti* (Figura 4.8 c) e d)). A maior parte dos ETICS ficaram significativamente danificados, e nas áreas onde se removeu a tinta de *graffiti* com o jato de água foi removido igualmente o acabamento do sistema. Nas amostras em que a superfície não ficou visivelmente danificada, observou-se que este tipo de limpeza não foi efetivo na remoção da tinta de *graffiti*.

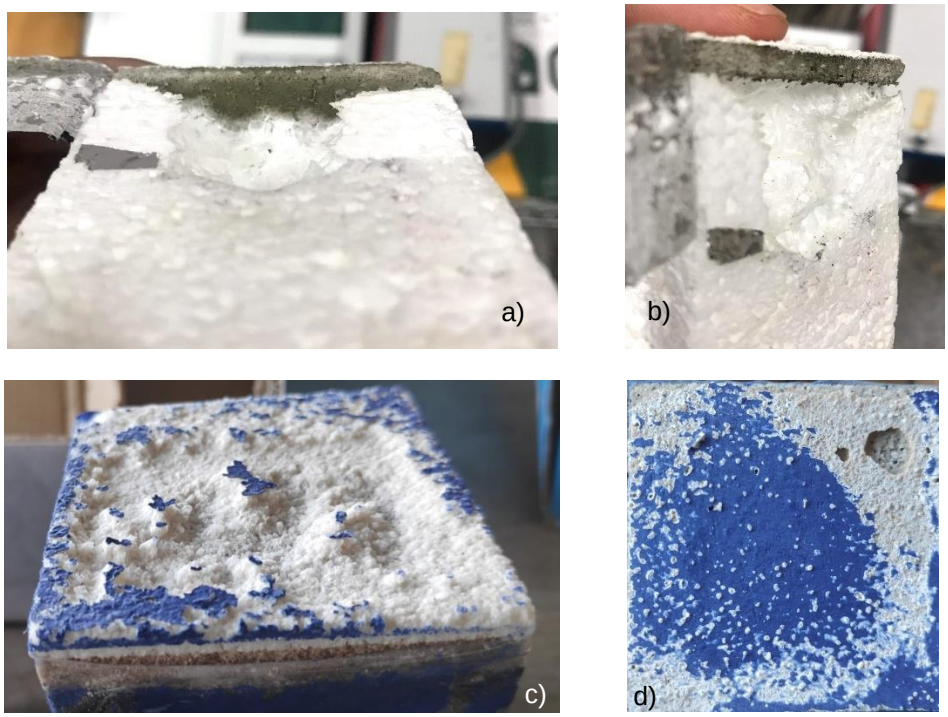


Figura 4.8 - Danos provocados pela removedor químico no EPS do sistema 6G a) e b); danos provocados pelo jato de água quente nas amostras 4G (c)) e 1G (d) (imagem 5x5cm)).

4.2.2 Quantificação da área limpa com recurso a análise de imagem

Como nota inicial deve referir-se que após as limpeza e aquisição das imagens o processamento das imagens foi feito através da utilização do *software* mencionado no capítulo 3.3.1.2. Esse processamento consiste na binarização (preto/branco) da superfície, onde os pixéis com tinta *graffiti* ficam pretos e a superfície limpa fica branca. É assim possível quantificar a área limpa, em percentagem. A estimativa da área limpa no caso das superfícies onde foi aplicada a tinta prateada não pode ser considerada fidedigna, pois a sobrestimação estará certamente associada aos elevados valores de brilho das superfícies. Assim sendo, optou-se por fazer uma avaliação através da visualização macroscópica das superfícies e atribuindo um valor de percentagem limpa. Em anexo encontram-se algumas superfícies ao longo das várias limpezas e exemplos da binizarização de superfícies em GIMP (Anexo A.6 e A.7). A quantificação nas amostras de referência após a limpeza não foi efetuada devido à dificuldade de diferenciar zonas danificadas com as zonas com o acabamento total.

4.2.2.1 Limpeza aquosa com escova de nylon (água fria e água quente)

A aplicação de ferramentas de análise de imagem veio confirmar a observação macroscópica realizada aquando da finalização do processo de limpeza aquosa com escova de nylon, seja com água fria ou quente (Tabela 4.euro guar9). De facto, as amostras após a limpeza com água fria não tiveram grande variação da percentagem limpa, tendo a maior variação sido de 2,20% de área limpa no caso do sistema 10G. Após a limpeza com escova de nylon e água quente, os resultados mantem-se praticamente inalterados, com as amostras 12G, 2G, 10G e 6G a terem a maior percentagem limpa, mas com valores inferiores a 6% de área limpa.

Tabela 4.9 – Estimativa, através de análise de imagem, de área limpa das superfícies (em percentagem) após a limpeza aquosa com escova de nylon e com água fria ou água quente.

	Azul		**Prateada**	
(%)	**Água Fria**	**Água Quente**	**Água Fria**	**Água Quente**
1G	0,03	0,00	0,00*	0,00*
2G	0,43	5,60	0,00*	0,00*
3G	0,00	0,00	0,00*	0,00*
4G	0,67	1,93	0,00*	0,00*
5G	0,00	0,00	0,00*	0,00*
6G	1,13	4,07	0,00*	0,00*
7G	0,00	0,00	0,00*	0,00*
8G	1,03	2,67	0,00*	0,00*
9G	0,33	0,47	0,00*	0,00*
10G	2,20	5,27	0,00*	0,00*
11G	0,00	0,00	0,00*	0,00*
12G	1,10	5,83	0,00*	0,00*

* Percentagem estimada por simples avaliação visual

4.2.2.2 Após limpeza com removedor químico e escova de nylon ou jato de água quente

Em geral, verificou-se que o processo de limpeza via química apresentou resultados mais satisfatórios do que a fase com jato de água quente. No caso das amostras azuis, os resultados estimados para a percentagem limpa quando é utilizado o produto químico seguido de escovagem variaram entre 47% e 83% (Tabela 4.10). Deste modo, em nenhum dos sistemas ETICS os resultados de limpeza se podem considerar satisfatórios. Analisando a remoção da tinta de spray azul com jato de água quente, verifica-se que os resultados estão muito distantes do aceitável; na maioria dos sistemas ETICS obtiveram-se valores de áreas limpas inferiores a 50% (Tabela 4.10). Além disso, este tipo de remoção em muitas das amostras causou danos graves na superfície e no resto pode-se ver alguns estragos na superfície (Figura 4.9).

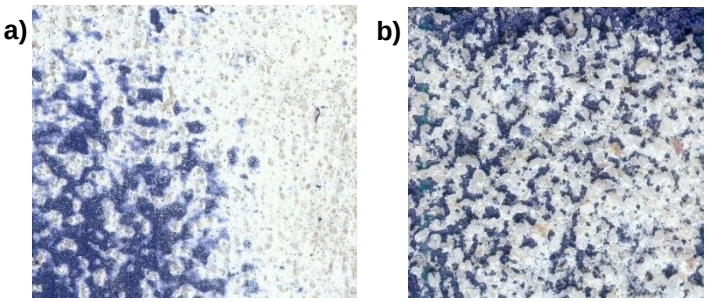


Figura 4.9 – Imagens mostrando os danos nas amostras 9G14 (esquerda) e 6G14 (direita) após a limpeza com removedor químico (imagens 5x5cm).

Avaliando macroscopicamente os resultados da remoção com agente químico nas amostras prateadas, só em dois dos sistemas é que se pode considerar um resultado satisfatório (4G e 9G) (Figura 4.10). Nos restantes sistemas e de acordo com a Tabela 4.10, os valores estimados para a percentagem limpa não ultrapassaram 60%. Já no jato com água quente o único resultado que pode ser considerado satisfatório foi o alcançado no sistema 4G, apesar de ter provocado um pouco desgaste na superfície. No resto das amostras obteve-se um resultado muito insatisfatório uma vez que a área limpa não terá ultrapassado 20% da superfície total a limpar. Na Figura 4.10 encontra-se exemplificado a binarização das amostras 5G azul durante aa aplicação dos métodos de limpeza.

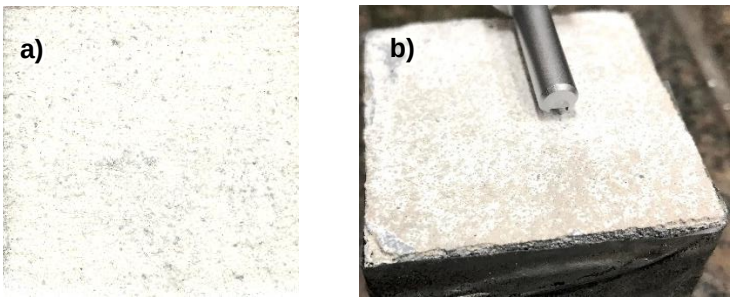


Figura 4.10 – Imagens mostrando o resultado nas amostras prateadas 4G (a)) e 9G (b)) após a limpeza com removedor químico (imagens 5x5cm).

Tabela 4.10 – Estimativa da percentagem, através de análise de imagem ou macroscopicamente, de área limpa das superfícies após limpeza química e escovagem e com jato de água quente.

	Azul		Prateada	
(%)	**Fase Química**	**Fase Jato**	**Fase Química**	**Fase Jato**
1G	83,00	10,00*	30,00*	3,77
2G	55,83	32,88**	37,49	19,07**
3G	66,90	50,60**	40,00*	11,59**
4G	73,30	78,05**	95,00*	100**
5G	64,43	47,78	60,00*	10,88
6G	59,37	47,37	60,00*	5,00*
7G	50,10	32,10	22,52	1,00*
8G	62,43	43,28	46,64	5,00*
9G	72,10	45,60**	95,00*	8,05**
10G	50,13	43,58	40,13	11,12
11G	47,00	39,85	12,88	15,00* **
12G	51,37	43,42	37,79	15,00

* Percentagem obtida de avaliação visual ** Superfícies das amostras danificadas pela limpeza.

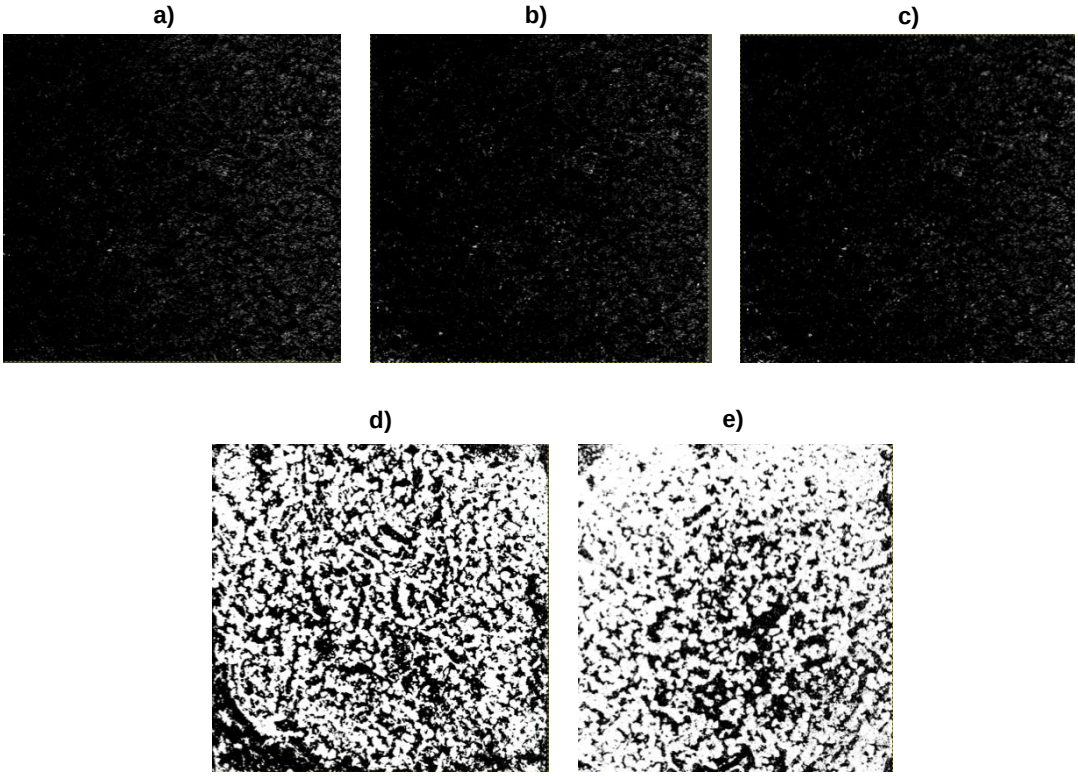


Figura 4.11 – Imagens, após as varias etapas de limpeza (a) - Fase de caracterização inicial, b) - Após limpeza com escova de nylon e água fria, c) - Após limpeza com escova de nylon e água quente, d) - Após limpeza com jato de água quente e e) - Após 2º limpeza com removedor químico (5G14), binarizadas da amostra 5G azuis (imagens 5x5cm).

Concluindo, no que diz respeito à limpeza de escova de nylon com água fria e à limpeza de escova de nylon com água quente, ambas não tiveram sucesso em remover a tinta *graffiti*. Já nas limpezas com removedor químico, as amostras com resultados minimamente satisfatórios foram as amostras 4G e 9G prateadas. As restantes amostras, tanto as que levaram com o removedor químico como as com jato de água, não tiveram bons resultados e/ou apresentaram danos na sua superfície.

4.2.3 Avaliação da cor após as ações de limpeza

4.2.3.1 Após limpeza das amostras com escova de nylon e água (fria e quente)

Como mencionado, esta avaliação foi feita em fases distintas: (i) após a limpeza com escova de nylon e água fria; (ii) após a limpeza com escova de nylon e água quente; (iii) após aplicação do removedor químico; (iv) e após do jato de água quente. Refira-se que na avaliação da alteração de cor induzida pela aplicação do sistema de limpeza é feita a comparação com as amostras na fase anterior.

Conforme a Tabela 4.11, a limpeza com escova de nylon e água fria teve mais efeito nas amostras de referência, com variação média de ΔE^*_{ab} =5.75 unidades, comparando com ΔE^*_{ab} =0.72 nas amostras azuis e ΔE^*_{ab} =3.26 nas prateadas. Nas amostras de referência e em 70 % dos sistemas de ETICS é possível observar a olho nu pequenas alterações de cor, isto é, ΔE^*_{ab} >5 unidades. Verificou-se que nas amostras azuis este tipo de limpeza foi mais difícil com uma variação do ΔE^*_{ab} mínima ou nenhuma, nomeadamente de 0 ou 1. Nas amostras prateadas pode-se destacar a amostras 4G em que se obteve valores médios de ΔE^*_{ab} de 9.94 unidades, valores, que de acordo com a bibliografia, indica que os resultados da limpeza são claramente percetíveis pelo olho humano. Em termos de luminosidade verifica-se que: as amostras de referência aumentam a sua luminosidade, as amostras azuis mantem praticamente inalteradas a luminosidade ($0<\Delta L^*<1$) e as amostras prateadas reduzem os valores de luminosidade.

Tabela 4.11 - Variações de cor, luminosidade, a* e b* e croma (C*) ao utilizar a escovagem com água fria, relativamente as amostras após a pintura e às de referência.

	Referência					Azuis após limpeza					Prateadas após limpeza				
	ΔL*	**Δa***	**Δb***	**ΔE^*_{ab}**	**C***	**ΔL***	**Δa***	**Δb***	**ΔE^*_{ab}**	**C***	**ΔL***	**Δa***	**Δb***	**ΔE^*_{ab}**	**C***
1G	7,91	-0,05	-0,96	7,97	1,17	0,51	0,18	-0,82	0,99	24,15	-3,09	-0,03	-0,31	3,10	0,22
2G	5,93	-0,08	-0,58	5,96	0,83	0,69	0,21	-1,03	1,26	24,34	-3,04	-0,04	-0,28	3,06	0,30
3G	6,62	-0,10	-0,22	6,63	4,01	0,49	0,25	-0,79	0,96	24,83	-3,43	-0,03	-0,41	3,46	0,61
4G	6,91	-0,14	0,27	6,92	3,91	0,93	0,24	-0,90	1,32	24,27	-9,91	-0,08	-0,72	9,94	0,92
5G	7,47	-0,22	-0,15	7,48	3,83	0,42	0,15	-0,54	0,70	25,08	-4,41	-0,03	-0,40	4,42	0,81
6G	6,00	-0,05	-0,32	6,01	3,45	0,62	0,19	-0,68	0,94	25,07	-3,62	-0,04	-0,41	3,64	0,83
7G	6,49	-0,01	-0,64	6,52	3,12	0,39	0,07	-0,31	0,50	25,12	-2,57	-0,04	-0,34	2,60	0,85
8G	6,54	0,18	-1,37	6,69	3,47	0,53	0,18	-0,69	0,88	25,07	-1,73	-0,06	-0,53	1,81	0,83
9G	6,53	-0,20	-0,04	6,53	1,67	0,52	0,12	-0,47	0,71	23,96	-4,03	-0,08	-0,62	4,08	0,51
10G	3,71	0,03	-0,09	3,71	4,00	0,34	0,01	-0,25	0,43	24,97	-1,31	-0,09	-0,55	1,42	0,93
11G	3,60	0,11	-0,16	3,61	4,01	0,10	0,00	-0,02	0,10	24,72	-1,30	-0,11	-0,62	1,44	1,03
12G	3,04	0,29	-0,74	3,15	4,24	0,23	0,00	-0,10	0,26	25,08	-0,66	-0,21	-0,64	0,94	1,04

Ao efetuar a limpeza com escova de nylon e água quente (Tabela 4.12), verificou-se que nas amostras azuis mantiveram-se quase inalterados os valores cromáticos face aos registados na primeira limpeza. Na limpeza da cor prateada foi possível registar algumas evoluções cromáticas comparando com a primeira fase de limpeza. Em cinco sistemas de ETICS (4G, 5G, 6G, 7G e 11G) registaram-se valores de ΔE^*_{ab} entre 5 e 10. O sistema 9G já tem alterações claramente visíveis com valores médios de ΔE^*_{ab} de 12.54 unidades. Na limpeza das amostras de referência a variação de cor sentida foi reduzida pela aplicação deste segundo sistema de limpeza, com valores de ΔE^*_{ab} entre 1 e 2 unidades.

Apresenta-se nas Figuras 4.12 a, b e 4.13 a,b, os aspetos das amostras do sistema 4G após limpeza com escovagem e água quente e fria.

Tabela 4.12 – Variações de cor, luminosidade, a* e b* e croma (C*) ao utilizar a escovagem com água quente relativamente as amostras após a pintura e às de referência.

	Referência					Azuis após limpeza					Prateadas após limpeza				
	ΔL*	**Δa***	**Δb***	**ΔE^*_{ab}**	**C***	**ΔL***	**Δa***	**Δb***	**ΔE^*_{ab}**	**C***	**ΔL***	**Δa***	**Δb***	**ΔE^*_{ab}**	**C***
1G	8,60	-0,11	-0,99	8,66	1,15	0,56	0,10	-0,62	0,84	23,92	-4,68	-0,09	-0,55	4,71	0,38
2G	7,26	-0,18	-0,57	7,28	0,88	0,60	0,16	-0,66	0,90	23,97	-3,45	-0,08	-0,59	3,50	0,61
3G	9,26	-0,26	-0,23	9,26	4,02	0,55	0,16	-0,81	0,99	24,81	-3,35	-0,09	-0,60	3,41	0,80
4G	7,48	-0,21	0,57	7,51	4,20	0,87	0,22	-0,83	1,23	24,20	-8,96	-0,11	-0,81	9,00	1,01
5G	9,67	-0,27	-0,09	9,68	3,89	0,58	0,14	-0,64	0,88	25,17	-5,80	-0,04	-0,42	5,81	0,84
6G	6,99	-0,09	-0,21	6,99	3,55	0,87	0,24	-0,91	1,28	25,30	-5,21	-0,08	-0,55	5,24	0,98
7G	8,19	-0,07	-0,61	8,22	3,14	0,29	-0,03	-0,16	0,33	24,94	-5,92	-0,06	-0,46	5,94	0,97
8G	7,01	0,13	-1,27	7,13	3,56	0,59	0,14	-0,67	0,91	25,04	-4,44	-0,12	-0,62	4,48	0,93
9G	6,88	-0,22	-0,08	6,88	1,62	0,70	0,12	-0,62	0,94	24,11	-12,49	-0,23	-1,03	12,54	0,93
10G	5,72	-0,09	0,03	5,72	4,10	0,50	-0,01	-0,23	0,56	24,94	3,45	-0,06	-0,31	3,46	0,69
11G	5,07	0,02	-0,07	5,07	4,09	0,17	0,00	-0,03	0,17	24,73	-5,00	-0,09	-0,54	5,03	0,95
12G	5,28	0,18	-0,56	5,31	4,41	0,46	0,05	-0,38	0,60	25,35	-2,70	-0,13	-0,66	2,78	1,03

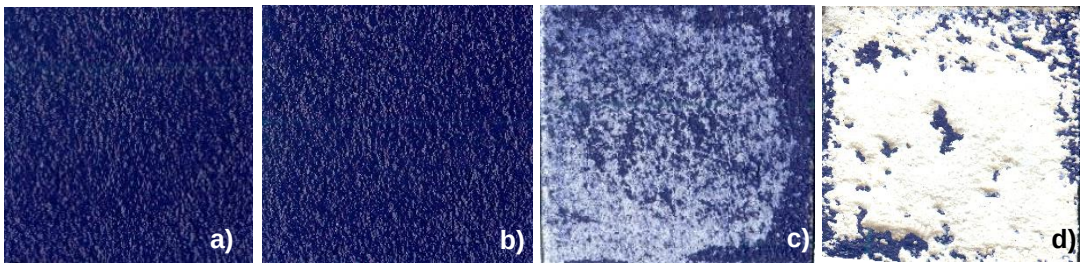


Figura 4.12 – Diferenças registadas nas superfícies do sistema 4G entre cada etapa de limpeza da tinta de spray azul: (a) escovagem com água fria, (b) escovagem com água quente, (c) escovagem com removedor quimico e (d) jato de água quente (imagens 5x5cm).

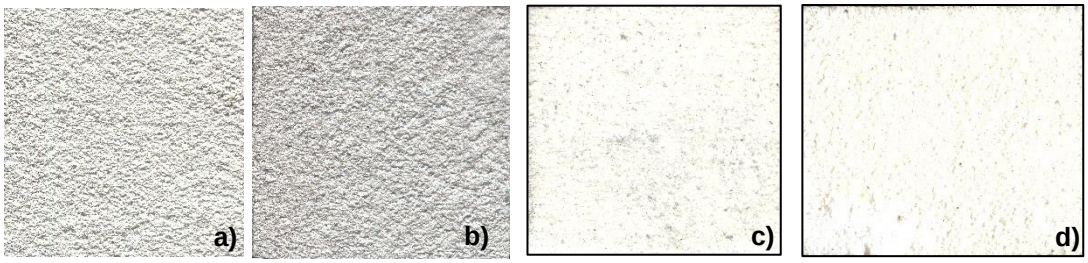


Figura 4.13 – Diferenças registadas nas superfícies do sistema 4G entre cada etapa de limpeza da tinta de spray prateada: (a) escovagem com água fria, (b) escovagem com água quente, (c) escovagem com removedor quimico e (d) jato de água quente (imagens 5x5cm).

4.2.3.2 Após limpeza das amostras com escova de nylon e removedor químico

Neste caso a comparação dos resultados é em relação aos resultados obtidos nas amostras de referência na fase de caracterização inicial. Conforme a Tabela 4.13, 40% das amostras de referência apresentam variações de cor maior que 5 unidades, após aplicação do removedor químico e escovagem; as alterações de cor já são assim captadas pelo olho humano, sendo, no entanto, considerados valores aceitáveis. Isto indica que quando se usa este tipo de removedor em ETICS, e sendo este tipo de limpeza pouco precisa, é provável que áreas adjacentes ao *graffiti* fiquem com alterações visíveis na cor.

Tabela 4.13 – Variações de cor, luminosidade, a* e b* e croma (C*) ao utilizar o removedor químico relativamente a amostras de referência na caracterização inicial.

	Referência					**Azuis**					**Prateadas**				
	ΔL*	**Δa***	**Δb***	**ΔE*$_{ab}$**	**C***	**ΔL***	**Δa***	**Δb***	**ΔE*$_{ab}$**	**C***	**ΔL***	**Δa***	**Δb***	**ΔE*$_{ab}$**	**C***
1G	7,18	-0,08	-1,23	**7,28**	0,91	-41,38	4,63	-19,90	**46,15**	19,27	-11,96	-0,35	-3,02	**12,34**	1,31
2G	4,19	-0,23	1,77	**4,56**	3,08	-21,90	0,70	-5,78	**22,66**	5,11	-14,47	-0,25	-1,45	**14,54**	0,85
3G	7,57	-0,24	0,02	**7,57**	4,27	-22,50	0,89	-9,85	**24,58**	5,88	-12,03	-0,29	-4,07	**12,70**	0,96
4G	6,87	-0,05	0,62	**6,89**	4,26	-25,16	1,06	-15,58	**29,61**	11,76	-4,09	-0,74	2,68	**4,95**	6,32
5G	9,70	-0,32	0,61	**9,72**	4,57	-21,15	0,60	-12,42	**24,54**	8,72	-6,45	-1,09	-3,17	**7,27**	1,21
6G	1,64	0,04	0,52	**1,72**	4,29	-25,33	0,62	-10,43	**27,40**	7,06	-14,49	-0,57	-3,22	**14,86**	1,10
7G	3,34	0,10	-0,51	**3,38**	3,25	-33,07	2,37	-16,44	**37,01**	13,55	-15,66	-0,49	-4,27	**16,24**	1,08
8G	4,90	0,18	-0,67	**4,95**	4,17	-24,47	0,84	-11,07	**26,87**	7,68	-8,92	-0,24	-3,63	**9,64**	1,26
9G	0,05	0,21	0,71	**0,74**	2,44	-25,85	1,94	-12,48	**28,77**	10,98	-7,42	-0,07	-0,65	**7,45**	1,62
10G	2,53	0,03	0,83	**2,66**	4,91	-31,14	1,82	-16,96	**35,50**	13,23	-13,41	-0,88	-3,84	**13,98**	0,66
11G	1,75	0,05	0,93	**1,98**	5,09	-35,40	2,27	-17,17	**39,41**	13,45	-18,39	-0,58	-4,82	**19,02**	0,73
12G	3,02	0,18	0,58	**3,08**	5,54	-31,73	1,18	-13,76	**34,60**	9,72	-17,11	-0,46	-4,12	**17,60**	1,05

Nas amostras azuis foram o tipo de amostras com maior variação respetivamente as amostras de referências iniciais, a média de ΔE^*_{ab} é de 32.20 unidades. Trata-se de um valor extremamente elevado e muito longe do aceitável. Este facto pode ser constatado, na Figura 4.12 c), onde se vê que a cor azul ainda está muito presente na amostra do sistema 4G.

As amostras prateadas tiveram um melhor resultado que as amostras azuis, na qual 23% pode-se considerar um resultado aceitável, valores de ΔE^*_{ab} menor que 10 unidades relativamente às amostras de referência. O resto das amostras não têm um ΔE^*_{ab} entre as 10 e as 20 unidades. Provavelmente com outra aplicação do removedor a maioria das amostras entravam no intervalo de aceitabilidade.

4.2.3.3 *Após limpeza das amostras com jato de água quente*

Relembre-se que as amostras que foram submetidas a este processo de limpeza corresponderam àquelas que resultaram da 1º aplicação do removedor químico. No caso do jato de água, há menos discrepância de resultados entre tipos de ETICS em termos de variações cromáticas, mas 70% das amostras foram obtidos valores de ΔE^*_{ab} superiores a 5 unidades (Tabela 4.14). Os resultados após esta limpeza não são totalmente fidedignos, já que em muitos das amostras em vez de remover apenas a tinta de *graffiti*, o jato de água removeu a camada de acabamento final. Este facto pode ser comprovado na Figura 4.12 d), na qual não só foi a camada de acabamento final erodida senão todo o acabamento. Na Figura 4.14 pode-se observar os diferentes efeitos do jato de água nas amostras sem tinta, com *graffiti* azul e com *graffiti* prateado. Neste caso específico, nas amostras prateadas foi possível remover o *graffiti* na sua totalidade, mas a cor teve uma variação de ΔE^*_{ab} de 7.41 unidades em relação a amostra inicial. No caso da amostra azul pode-se verificar os danos produzidos nas amostras.

Nos anexos A.3 (amostras de referência), A.4 (amostras azuis) e A.5 (amostras prateadas) encontram-se tabelas com os valores médios de L*, a*, b* e C* por sistemas.

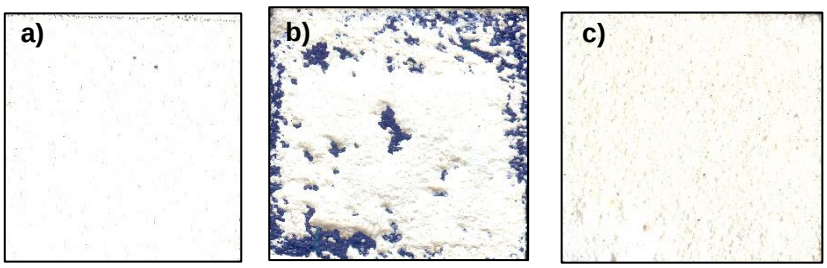


Figura 4.14 – Comparação da amostras 4G12 (a) antes de ser limpa com as amostras 4G14 (b, azul) e 4G17 (c, prateada) após a limpeza com jacto de água quente (imagens 5x5cm).

Tabela 4.14 - Variações de cor, luminosidade, a* e b* e croma (C*), ao utilizar o jato de água quente relativamente a amostras de referência.

	Referência					**Azuis**					**Prateadas**				
	ΔL*	**Δa***	**Δb***	**ΔE^*_{ab}**	**C***	**ΔL***	**Δa***	**Δb***	**ΔE^*_{ab}**	**C***	**ΔL***	**Δa***	**Δb***	**ΔE^*_{ab}**	**C***
1G	6,25	-0,05	-0,87	**6,31**	1,26	-16,31	1,76	-13,48	**21,24**	11,61	-15,08	-0,09	-3,41	**15,47**	1,33
2G	3,92	-0,36	1,79	**4,32**	3,13	-28,73	3,32	-11,92	**31,28***	11,07	-11,22	-0,32	0,59	**11,24***	1,97
3G	6,62	-0,32	-0,90	**6,69**	3,38	-16,89	1,52	-9,69	**19,53***	5,60	-9,94	-0,25	-3,51	**10,54***	0,95
4G	5,07	-0,26	3,65	**6,25**	7,28	-3,29	0,17	-1,48	**3,61***	3,01	3,26	-0,64	6,62	**7,41***	10,25
5G	8,80	-0,31	0,68	**8,84**	4,64	-13,79	0,67	-10,16	**17,14**	6,39	-9,94	-1,08	-4,18	**10,84**	0,42
6G	5,79	-0,03	0,89	**5,86**	4,66	-23,10	1,69	-12,25	**26,21**	8,73	-16,46	-0,58	-4,36	**17,03**	0,67
7G	6,66	-0,12	-0,34	**6,66**	3,41	-32,35	3,08	-18,36	**37,32**	14,95	-15,37	-0,46	-4,88	**16,13**	1,19
8G	6,11	0,22	-0,05	**6,12**	4,79	-24,37	1,90	-13,57	**27,96**	8,96	-15,96	-0,37	-5,40	**16,85**	0,66
9G	6,10	-0,22	-0,35	**6,12**	1,36	-32,06	3,54	-13,89	**35,12***	12,74	-17,74	-0,39	-2,73	**17,95***	1,08
10G	5,72	-0,16	0,92	**5,79**	4,98	-25,71	1,69	-12,52	**28,65**	8,77	-14,67	-0,82	-4,63	**15,40**	0,63
11G	4,04	0,01	0,92	**4,14**	5,08	-30,07	2,12	-13,48	**33,02**	9,64	-13,00	-0,50	-3,10	**13,38**	1,11
12G	4,44	0,23	0,55	**4,48**	5,51	-28,07	1,86	-13,86	**31,36**	9,18	-15,18	-0,57	-4,43	**15,83**	0,66

Como se pode observar, os dois primeiros métodos de limpeza não provocaram grandes efeitos na cor das amostras. O métodos mais eficiente tanto nas amostras azuis como nas pratedas foi o removedor químico, mesmo assim não foi satisfatório em todos os casos, excepto a amostra 4G prateada.

4.2.4 Avaliação do brilho após ações de limpeza

4.2.4.1 Após limpeza das amostras com escova de nylon e água (fria e quente)

Segundo a maioria das empresas que fabricam *glossmeters*, para superfícies baças (com brilho próximo de 5 GU) diferenças de 3 GU já são visíveis pelo olho humano (Rhopoint Instruments n.d.). Após a primeira lavagem com água fria (Tabela 4.15) só as amostras prateadas é que têm diferenças maiores que uma unidade, sendo que as amostras 9G e 1G são as que tem maior variação. No caso das amostras de referência e azuis a variação média é de 0,35 GU e de -0,12 GU, respetivamente.

Tabela 4.15 - Valores médios e desvios padrão de brilho após 1º escovagem com água fria e média e variação de brilho em relação a fase anterior.

	1º Escovagem								
	Referência			Azul			Prateado		
ETICS	**Média**	**Desv. Pad.**	**ΔGU**	**Média**	**Desv. Pad.**	**ΔGU**	**Média**	**Desv. Pad.**	**ΔGU**
1G	2,06	0,07	0,11	4,72	0,61	-0,03	21,61	2,61	-5,56
2G	2,02	0,08	0,08	2,52	0,24	-0,16	11,52	2,54	-3,02
3G	2,00	0,04	0,53	0,99	0,14	-0,03	5,73	0,24	-2,47
4G	1,99	0,06	-0,21	4,67	0,75	-0,19	4,06	0,88	-3,71
5G	1,97	0,07	0,92	0,91	0,34	-0,02	4,22	0,80	-2,52
6G	1,94	0,05	0,63	0,66	0,20	-0,16	3,80	0,24	-1,66
7G	1,93	0,04	0,56	0,93	0,15	-0,09	4,61	0,73	-1,28
8G	1,91	0,07	0,59	0,82	0,35	-0,03	4,08	1,11	-1,82
9G	1,88	0,14	-0,22	12,64	3,80	-0,68	25,90	6,00	-10,92
10G	1,86	0,06	0,54	0,52	0,19	-0,12	4,14	1,05	-1,52
11G	1,80	0,05	0,39	0,71	0,19	0,02	4,02	0,66	-1,51
12G	1,76	0,08	0,34	0,70	0,14	-0,01	3,67	0,70	-1,82

Usando o mesmo método de avaliação, pode-se dizer que nesta lavagem com água quente (Tabela 4.16) não ocorreram variações de brilho significantes, tendo elas todas variações muito baixa, exceto no sistema 9G prateado em que o brilho varia em comparação a fase anterior em -4,39 GU.

Tabela 4.16 - Valores após 2º escovagem com água quente de média, desvio padrão e variação de brilho em relação a fase anterior (escovagem com água fria).

	2º Escovagem								
	Branco			Azul			Prateado		
ETICS	**Média**	**Desv. Pad.**	**ΔGU**	**Média**	**Desv. Pad.**	**ΔGU**	**Média**	**Desv. Pad.**	**ΔGU**
1G	2,08	0,06	0,02	4,76	0,64	0,03	19,98	1,97	-1,63
2G	1,91	0,09	-0,11	2,48	0,28	-0,04	10,26	2,05	-1,27
3G	1,49	0,03	-0,51	1,01	0,17	0,02	5,48	0,27	-0,26
4G	2,28	0,08	0,29	4,83	0,69	0,17	4,02	0,66	-0,03
5G	1,18	0,06	-0,79	0,99	0,30	0,08	3,77	0,80	-0,46
6G	1,24	0,05	-0,70	0,81	0,22	0,16	3,48	0,27	-0,32
7G	1,33	0,05	-0,60	1,06	0,15	0,12	4,06	0,57	-0,56
8G	1,31	0,06	-0,60	0,91	0,33	0,09	3,91	0,54	-0,17
9G	2,60	0,16	0,72	13,06	3,70	0,41	21,51	3,06	-4,39
10G	1,28	0,06	-0,58	0,73	0,24	0,21	3,12	0,84	-1,02
11G	1,31	0,06	-0,49	0,79	0,11	0,08	3,43	0,44	-0,59
12G	1,34	0,11	-0,41	0,79	0,17	0,09	3,32	0,57	-0,34

Conforme a Tabela 4.17, o conjunto de amostras que conseguiram melhor resultado comparando com o brilho inicial foram as azuis. As amostras azuis após o removedor químico tiveram um ΔGU médio em relação as amostras iniciais de -0,72 GU. Fazendo a mesma comparação nas amostras prateadas, em alguma das amostras o valor do brilho está mais distante do valor pretendido. Utilizando os valores mínimos de variação captados pelo olho humano pode-se dizer que todas as amostras estão dentro do intervalo estabelecido de ΔGU =3 GU.

Tabela 4.17 – Valores brilho após aplicação de removedor químico (média, desvio padrão) e sua variação em relação a fase de limpeza com água quente e escovagem (ΔGU*) e em relação a amostras de

	Removedor Químico											
	Referência				Azul				Prateado			
ETICS	**Média**	**D. Pad.**	**ΔGU***	**ΔGU****	**Média**	**D. Pad.**	**ΔGU***	**ΔGU****	**Média**	**D. Pad.**	**ΔGU***	**ΔGU****
1G	2,47	0,09	0,39	0,52	1,43	0,12	-3,32	-0,51	1,37	0,05	18,61	-1,90
2G	1,67	0,05	-0,24	-0,28	1,13	0,05	-1,34	-0,81	1,37	0,05	8,89	-1,90
3G	1,70	0,00	0,21	0,23	0,93	0,05	-0,08	-0,53	1,20	0,00	4,28	-1,47
4G	2,10	0,00	-0,18	-0,10	0,87	0,05	-3,97	-1,33	1,83	0,05	2,19	-2,15
5G	1,57	0,05	0,39	0,52	0,87	0,05	-0,12	-0,18	1,07	0,05	2,70	-1,00
6G	1,40	0,00	0,16	0,09	0,83	0,09	0,02	-0,48	1,10	0,08	2,38	-1,23
7G	1,60	0,00	0,27	0,22	0,63	0,05	-0,42	-0,74	1,10	0,00	2,96	-1,38
8G	1,50	0,00	0,19	0,18	0,80	0,08	-0,11	-0,52	1,07	0,05	2,84	-1,28
9G	1,70	0,00	-0,90	-0,40	1,27	0,05	-11,79	-0,83	1,70	0,00	19,81	-2,10
10G	1,50	0,08	0,22	0,19	0,60	0,00	-0,13	-0,71	0,83	0,05	2,29	-1,26
11G	1,57	0,05	0,26	0,16	0,50	0,00	-0,29	-0,91	1,10	0,14	2,33	-1,27
12G	1,50	0,00	0,16	0,09	0,47	0,05	-0,32	-0,94	0,93	0,05	2,39	-1,36

referência (ΔGU**).

De acordo com a Tabela 4.18, após a limpeza com jato de água quente, os resultados dos valores de ΔGU médio nas amostras de referência e azuis são semelhantes aos da limpeza com removedor químico, isto é, a ordem de grandeza são a mesma. Em outras palavras, os valores de ΔGU em relação as amostras iniciais são de -0,75 GU nas amostras azuis e de -0,13 GU nas amostras de referência, ou seja, perdem brilho. Nas amostras prateadas, a variação dos valores

de brilho em relação às amostras iniciais diminuíram comparando com a limpeza de removedor químico. No entanto, não pode ser esquecido que um número elevado destas amostras foram danificadas por este tipo de limpeza, ou seja, acrescentando incerteza nestes valores, especialmente nas amostras consideradas gravemente danificadas (2G, 3G, 5G, 8G e 11G).

Tabela 4.18 – Valores brilho após jato de água quente de média, desvio padrão e sua variação em relação a fase de limpeza com água quente e escovagem (ΔGU*) e em relação a amostras de referência (ΔGU**).

	Jato de água quente											
	Referência				Azul				Prateado			
ETICS	**Média**	**D. Pad.**	**ΔGU***	**ΔGU****	**Média**	**D. Pad.**	**ΔGU***	**ΔGU****	**Média**	**D. Pad.**	**ΔGU***	**ΔGU****
1G	2,27	0,09	0,19	0,32	1,20	0,21	-3,56	-0,74	2,50	0,50	-17,48	0,56
2G	1,93	0,07	0,02	-0,01	0,82	0,07	-1,66	-1,13	1,45	0,11	-8,81	-0,49
3G	1,70	0,00	0,21	0,23	0,85	0,19	-0,16	-0,62	1,27	0,05	-4,21	-0,20
4G	1,83	0,07	-0,44	-0,37	1,17	0,17	-3,67	-1,03	1,90	0,06	-2,12	-0,30
5G	1,48	0,07	0,31	0,44	0,77	0,05	-0,22	-0,28	0,98	0,09	-2,78	-0,06
6G	1,57	0,05	0,32	0,26	0,72	0,04	-0,09	-0,59	0,97	0,07	-2,51	-0,34
7G	1,58	0,04	0,25	0,21	0,65	0,05	-0,41	-0,73	1,13	0,07	-2,92	-0,24
8G	1,45	0,05	0,14	0,13	0,75	0,13	-0,16	-0,57	1,03	0,07	-2,88	-0,29
9G	2,02	0,09	-0,58	-0,08	1,22	0,25	-11,84	-0,88	2,12	0,31	-19,39	0,02
10G	1,53	0,05	0,26	0,22	0,63	0,05	-0,10	-0,68	1,08	0,15	-2,04	-0,23
11G	1,53	0,07	0,22	0,12	0,62	0,04	-0,17	-0,79	1,10	0,00	-2,33	-0,31
12G	1,57	0,09	0,22	0,16	0,73	0,05	-0,06	-0,68	1,12	0,04	-2,21	-0,29

Concluindo, todas as amostras consideradas não danificadas repuseram os valores de brilho. As primeiras limpezas de escova de nylon, tanto a água fria como a água quente, não alteraram suficientemente o brilho das amostras para que se possa considerar uma limpeza bem sucedida.

4.2.5 Avaliação da rugosidade pontual após ações de limpeza

Apresentam-se nas Tabelas 4.19 e 4.20 os valores médios de rugosidade pontual e respetivos desvios padrão após a aplicação dos processos de limpeza. Face aos valores médios e desvios padrão alcançados de rugosidade pontual houve a necessidade de aplicar o Teste t-student por forma a diferenciar os sistemas ETICS após os processos de limpeza (Anexo A.9). As amostras foram comparadas em termos de rugosidade pontual relativamente às amostras de referência (LR) e em comparação com as amostras antes da limpeza da pintura azul (LA) e prateada (LP).

4.2.5.1 Após limpeza com removedor químico e escova de nylon

Utilizando o teste t, nas amostras de referências, as amostras 5G, 6G e 9G são as únicas que se podem considerar com médias significativamente diferente das restantes. As amostras 5G e 6G têm o mesmo acabamento. Já a amostra 9G é a única de tinta de silicato, sendo a amostra com menor rugosidade. Em anexo encontra-se exemplos do teste t (Anexo A.9).

Nas amostras de cor azul o resultado da aplicação do teste estatístico aos valores de rugosidade pontual após limpeza química é diferente: pode-se considerar serem distintos os valores médios de rugosidade pontual nos sistemas 1G, 2G, 3G, 5G e 7G. À semelhança das amostras de referência, as amostras 5G voltou a ter médias diferentes, juntando-se a esta a amostra 7G que

só tem uma pequena diferença no acabamento final. As amostras 1G, 2G e 3G tiveram valores médios de rugosidade pontual diferentes das iniciais, com diminuição das suas médias de aproximadamente -0,140 mm. Isto significa que estes amostras ficaram menos rugosas.

Passando para as amostras prateadas, após a limpeza química os sistemas 2G, 4G, 7G e 9G tiveram valores médios de rugosidade pontual significativamente diferentes. A amostra 2G têm o acabamento em tinta acrílica e as médias baixaram. As amostras 4G e 9G são as amostras com a menor rugosidade e com menor desvio padrão; estas amostras têm acabamento diferentes de todos os outros. O sistema 7G também teve uma redução dos valores de rugosidade pontual média significante de -0,118 mm, sendo o acabamento da amostra muito semelhante ao das amostras 5G e 6G.

Tabela 4.19 – Valores médios, desvio padrão e de variação média da rugosidade pontual (expressos em mm) após limpeza com removedor químico e escovagem, em comparação com as amostras de referência na fase de caracterização inicial e em comparação a fase de limpeza anterior.

	Referência			**Azul**				**Prateado**			
	Média	**D. Pad.**	**LR**	**Média**	**D. Pad.**	**LR**	**LA**	**Média**	**D. Pad.**	**LR**	**LP**
1G	0,573	0,078	-0,007	0,437	0,047	-0,143	-0,073	0,464	0,111	-0,116	-0,111
2G	0,799	0,151	-0,004	0,644	0,134	-0,159	0,015	0,504	0,182	-0,300	-0,262
3G	0,752	0,201	0,072	0,569	0,171	-0,112	-0,117	0,708	0,150	0,027	-0,053
4G	0,403	0,073	-0,065	0,501	0,089	0,033	0,062	0,337	0,069	-0,131	-0,105
5G	0,890	0,233	0,008	0,664	0,244	-0,218	-0,099	0,905	0,205	0,023	0,174
6G	0,978	0,296	0,194	0,819	0,277	0,034	-0,030	0,758	0,237	-0,026	0,060
7G	0,886	0,189	0,036	0,692	0,156	-0,158	-0,044	0,732	0,156	-0,118	0,028
8G	1,029	0,140	0,051	1,039	0,212	0,061	0,039	0,939	0,374	-0,038	-0,038
9G	0,543	0,044	0,057	0,493	0,053	0,007	0,085	0,418	0,038	-0,068	0,024
10G	1,213	0,540	0,222	0,819	0,330	-0,172	-0,150	1,124	0,358	0,133	0,089
11G	1,077	0,386	0,042	1,096	0,385	0,061	0,131	1,140	0,297	0,105	0,115
12G	0,989	0,382	0,065	0,861	0,364	-0,062	-0,056	1,102	0,319	0,179	0,109

Nota: LR- amostras de referência (LR) e em comparação com as amostras antes limpeza da pintura azul (LA) e prateada (LP).

4.2.5.2 Após limpeza com jato de água quente

Da aplicação do teste estatístico t-student verificou-se que para as amostras de referência, aquelas que se pode considerar com diferenças significativas na média dos valores de rugosidade pontual são as amostras 1G, 3G e 4G. As amostras 1G e 3G são neste caso também as mais afetadas pelo jato de água. A aplicação do jato de água quente sobre o sistema 4G fez aumentar a sua rugosidade pontual, ao contrário do verificado nos restantes sistemas.

Nas amostras azuis à semelhança do acontecido após limpeza com removedor químico e escovagem, pode-se considerar que as amostras 1G e 2G têm valores médios de rugosidade pontual diferentes. Mas no caso da amostra 2G, os provetes estão suficientemente deteriorados para não se poder considerar o resultado satisfatório (Figura 4.15); resultado semelhante foi alcançado para as amostras 4G e 9G.

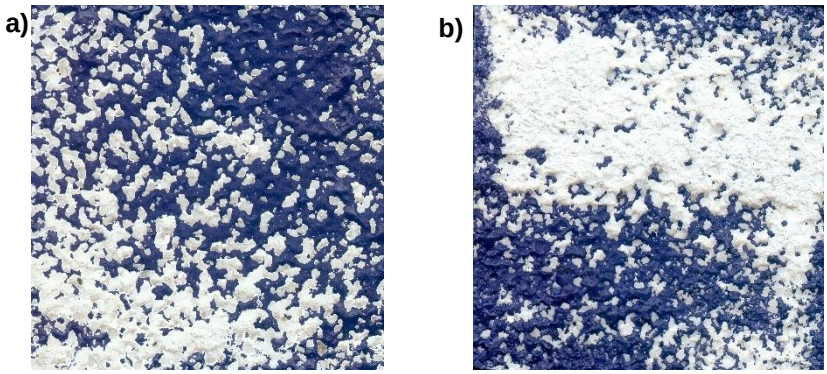


Figura 4.15 – Amostras 2G e 3G com danos severos nas suas superfícies (imagens 5x5cm).

Nas amostras prateadas, as amostras do sistema 3G, que variou a sua rugosidade, teve danos suficientes para o resultado não ser considerado válido/satisfatório. As amostras com menor rugosidade tiveram resultados opostos, isto é, o sistema 4G aumentou a sua rugosidade média pontual enquanto que o sistema 9G diminui os seus valores.

Tabela 4.20 – Valores médios, desvio padrão e de variação média da rugosidade pontual (expressos em mm) após limpeza com jato de água quente, em comparação as amostras de referência na fase de caracterização inicial e em comparação a fase de limpeza anterior.

	Referência			**Azul**				**Prateado**			
	Média	**D. Pad.**	**LR**	**Média**	**D. Pad.**	**LR**	**LA**	**Média**	**D. Pad.**	**LR**	**LP**
1G	0,492	0,063	-0,088	0,454	0,079	-0,126	-0,056	0,512	0,092	-0,068	-0,063
2G	0,680	0,196	-0,123	0,581	0,184	-0,223	-0,049	0,780	0,265*	-0,024	0,014
3G	0,753	0,177	0,073	0,792*	0,286	0,112	0,107	0,814	0,175	0,134	0,053
4G	0,647	0,240	0,180	1,010*	0,646	0,542	0,571	0,723	0,252	0,256	0,282
5G	0,806	0,189	-0,076	0,773	0,253	-0,109	0,009	0,657	0,272	-0,225	-0,074
6G	0,766	0,328	-0,018	0,656	0,288	-0,128	-0,193	0,758	0,317	-0,026	0,060
7G	0,955	0,180	0,105	0,759	0,243	-0,091	0,022	0,702	0,174	-0,148	-0,002
8G	0,457	0,267	-0,521	0,958	0,325	-0,019	-0,042	1,115	0,270	0,137	0,137
9G	0,457	0,091	-0,030	0,421*	0,071	-0,065	0,012	0,404	0,041	-0,083	0,010
10G	0,767	0,252	-0,224	0,934	0,358	-0,058	-0,035	0,937	0,342	-0,054	-0,098
11G	0,981	0,274	-0,054	1,030	0,288	-0,005	0,065	1,030	0,287	-0,005	0,005
12G	0,918	0,343	-0,005	0,911	0,291	-0,012	-0,006	0,741	0,354	-0,182	-0,252

4.2.6 Análise da rugosidade de perfil após ações de limpeza

O ensaio da rugosidade de perfil e a analise só foram feitas nas amostras onde a limpeza não danificou substancialmente as amostras, já que complica muito a realização do ensaio. As amostras de referência 4G, 8G, 10G, 11G e 12G ficaram danificadas após o jato de água. As amostras azuis 2G, 3G, 4G e 9G e prateadas 2G, 3G, 4G, 9G e 11G foram também danificadas pelo jato de água.

4.2.6.1 Após limpeza com removedor químico e escova de nylon

Para perceber se as variações de Ra e Rz eram significativas utilizou-se um método proposta por Gaspar et al. (2003) e também já utilizado por outros autores como Carvalhão and Dionísio (2015). O método determina intervalo de variação significativa a partir desvio padrão médio composto pelas 6 medições feitas nas amostras de referência. O limite mínimo e máximo desse intervalo é a subtração e adição, respetivamente, do desvio padrão no valor médio.

A primeira observação é que em geral os desvios padrões diminuíram em relação a referência antes da limpeza. Nas amostras de referência (figura 4.16 a), só nas amostras 2G e 9G é que se pode afirmar que a variação Ra é significativa. Em ambos os casos o valor de Ra aumentou. Há semelhança de Ra, as únicas amostras nas quais se pode afirmar que a variação Rz é significativa são as amostras 2G e 9G, cujos valores também aumentaram.

Nas amostras azuis (Figura 4.16 b), as amostras correspondentes aos sistemas 3G, 4G e 9G são as amostras com uma variação significativa de Ra, em todas elas essa variação significa um aumento de Ra, após a aplicação do removedor químico. Esses aumentos fizeram que os valores se assemelhem aos valores das amostras de referência na caracterização inicial. No caso do Rz as amostras 1G, 3G, 4G, 9G e 11G são aquelas que têm variação significativa. No entanto, só os valores das amostras 1G, 3G, 4G e 9G é que se assimilam aos valores das amostras de referência na caracterização inicial.

As amostras prateadas (Figura 4.16 c) são o único caso no qual a maioria das amostras (2G, 3G, 6G, 7G, 8G, 10G e 12G) tiveram uma variação de Ra significativa. Dessas amostras, só as amostras 3G, 6G, 8G e 12G têm valores semelhantes amostras de referência na caracterização inicial.

No caso do Rz, à semelhança de Ra, também a maioria das amostras tiveram uma variação significativa, essas amostras são 1G, 2G, 3G, 6G, 7G, 8G e 12G. Comparando os valores as amostras de referência antes da limpeza é correto dizer que as amostras 1G, 3G, 6G, 8G e 12G repuseram os valores inicias.

Todos os valores das amostras prateadas que restabeleceram os valores iniciais também repuseram os valores iniciais na rugosidade pontual. No caso das amostras azuis, a 3G não repôs os valores na rugosidade pontual.

4.2.6.2 Após limpeza com jato de água quente

À semelhança da análise das amostras limpas com removedor, utilizou-se o mesmo método para analisar os resultados de rugosidade após limpeza com jato de água quente.

No caso das amostras de referência (Figura 4.16 d), o Ra varia muito pouco, em alguns casos chega a ser de ±4 µm. O único caso que teve um aumento significativo de Ra foi a amostra 3G que variou 13,14 µm. À semelhança do Ra, só a amostra 3G é que tem uma variação suficientemente significativa, cujo valor é de 39,47 µm.

Entre as amostras azuis (Figura 4.16 e) só houve duas amostras a terem Ra significativamente diferente do seu valor antes da remoção, estas duas amostras são a 2G e 5G que tem uma variação de 4,22 µm e de 9,00 µm, respetivamente. Na amostra 2G se comparar com amostras de referência antes da limpeza, o valor de Ra ainda está muito longe do pretendido. Já no caso da amostra 5G esse valor obtido é parecido com o valor na caracterização inicial das amostras de referência.

No que diz respeito o Rz das amostras azuis, só as amostras 1G e 5G têm valores de variação fora do intervalo de insignificância, e ambas as amostras conseguiram repor os valores iniciais antes das amostras serem pintadas.

Nas amostras prateadas (Figura 4.16 f), à semelhança nas amostras azuis, a amostra 5G está fora do intervalo de insignificância comparando com os valores antes da limpeza. A amostra volta a repor os valores obtidos nas amostras de referência antes de serem pintadas. A amostra 1G também apresenta este resultado. As amostras 7G e 9G estão fora do intervalo tanto comparando com antes da limpeza como antes de serem pintadas.

O Rz na amostra 1G, o resultado é semelhante que ao do Ra. As amostras 5G e 6G também apresentam esse resultado. As amostras 7G, 9G e 10G estão fora do intervalo tanto comparando com antes da limpeza como antes de serem pintadas.

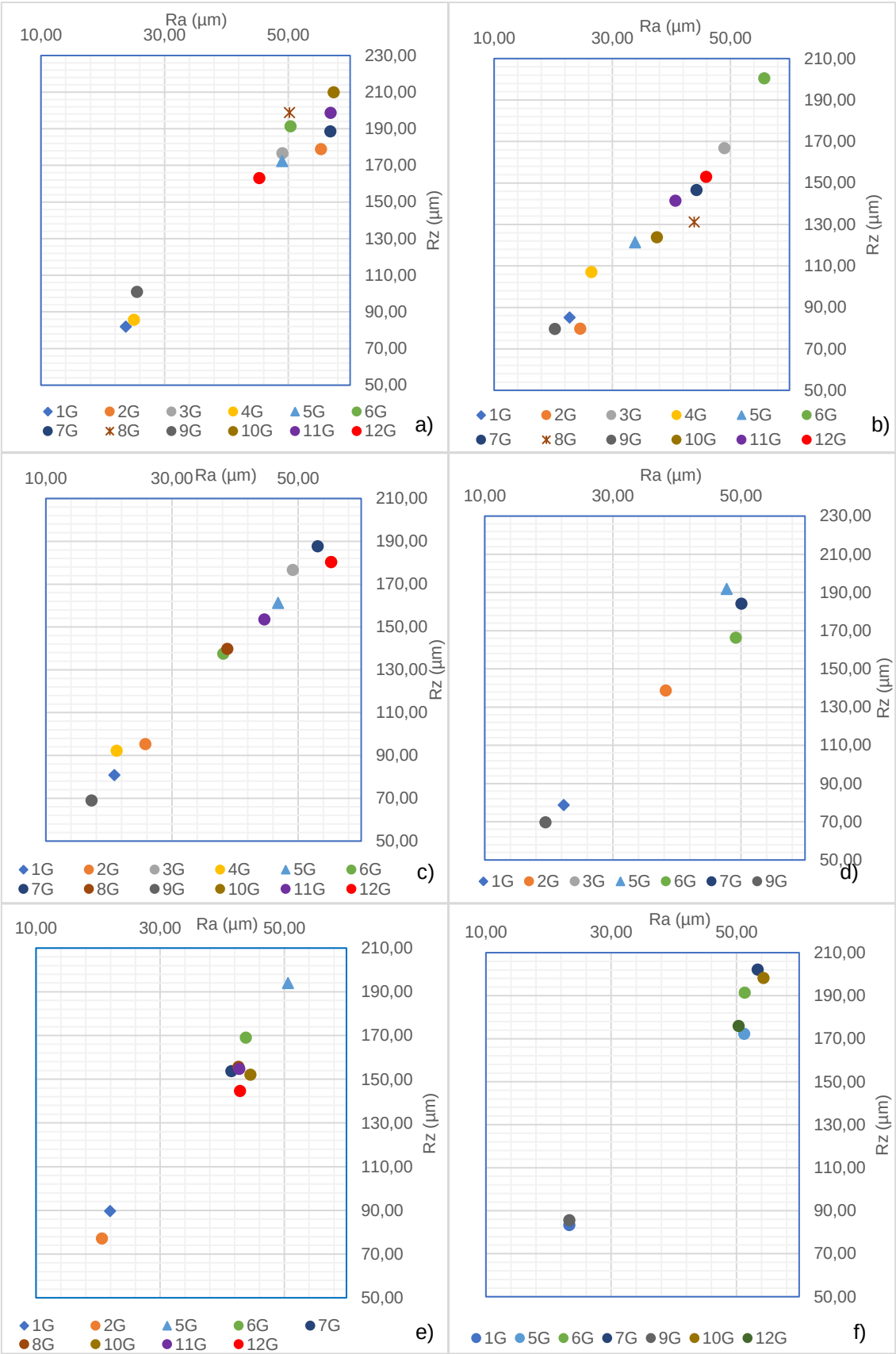


Figura 4.16 – Gráficos da relação Ra e Rz: amostras após a limpeza com removedor químico e escovagem [(a) referência, (b) azuis e (c) prateadas] e após limpeza com jato [(d) referência, (e) azuis e (f) prateadas]

4.2.7 Síntese dos resultados da aplicação dos processos de limpeza

Após a limpeza das superfícies com água fria e escova de nylon pode-se observar que a variação de cor total nas amostras de referência é determinada fundamentalmente pelo aumento da luminosidade. Este facto também é constatado nas amostras prateadas. Nas amostras azuis mantem-se os valores de L*, a* e b*. Em relação ao brilho, as amostras com maior diferença foram as prateadas (destacando-se as amostras 1G e 9G), nas amostras de referência e azuis a variação foi menor que 1GU. Analisando a quantidade de área limpa, neste caso em ambas as amostras (azuis e prateadas) pode considerar-se que nenhuma área foi limpa, com percentagens limpas inferiores 3%.

No caso da remoção com água quente e escova de nylon, as amostras que têm maior variação de cor são as amostras prateadas, fundamentalmente associada à variação da luminosidade, destacando-se as amostras 4G e 9G que têm um ΔE^*_{ab} de 9 e 12.54, respetivamente. Nas amostras de referência houve também um aumento de luminosidade que se traduziu em valores de ΔE^*_{ab} >5 em todas as amostras. No caso do brilho, em geral, as variações foram insignificativas, exceto a amostra 9G prateada, que teve uma variação de brilho de -4,39 GU. Em geral, na limpeza com aplicação de água quente e escovagem a percentagem de área limpa pode igualmente considerar-se muito próxima de zero.

Após a utilização do removedor químico, as amostras azuis apresentaram ainda valores de cor muito distintos dos medidos nas amostras de referência (média dos ΔE^*_{ab} é de 32,20 unidades). As amostras prateadas tiveram um melhor resultado que as azuis, mas em geral as amostras tiveram valores não aceitáveis exceto para as amostras 4G, 5G, 8G e 9G. Em relação ao brilho, tanto as amostras azuis como as prateadas tiveram resultados satisfatórios, ou seja, uma variação em relação às amostras de referência na caracterização inicial menor que 3 GU. Nesta fase a percentagem de área limpa nas amostras azuis foi superior a 50%, sendo, portanto, longe de valores aceitáveis. Já no caso das amostras prateadas, os resultados ou foram inferiores a 45% ou superiores a 60%, é relevante destacar que as amostras 4G e 9G tiveram 95% de área limpa, sendo nestes acabamentos mais fáceis de limpar a tinta de *graffiti*. Analisando a rugosidade pontual destaca-se que as amostras de referência que variam a sua rugosidade são 5G, 6G e 9G. A única amostra que tem o mesmo resultado nas amostras azuis é o sistema 5G. As outras amostras que variaram a sua rugosidade após ações de limpeza foram as amostras 1G, 2G, 3G (amostras com sistema semelhantes) e amostra 7G que tem uma constituição parecida à amostra 5G. Nas amostras prateadas as amostras 1G, 2G, 7G e 9G voltam a variar a rugosidade. Acrescentando-se a estas, a amostra 4G. Já a rugosidade com o perfilómetro (uma rugosidade na escala dos µm), nas amostras de referência as únicas amostras que voltaram a ter valores aceitáveis, semelhantes aos iniciais, tanto em Ra como em Rz foram as amostras 2G e 9G. As amostras azuis 3G, 4G e 9G conseguiram repor os seus valores em Ra e Rz. Em Rz também conseguiram repor os seus valores as amostras 1G e 11G. No caso das amostras prateadas, as amostras 3G, 6G, 8G e 12G restabeleceram os valores iniciais de Ra e Rz. À semelhança das amostras azuis, a amostra 1G também voltou aos valores inicias de Rz.

Ao avaliar as amostras após a remoção com jato de água quente, conclui-se que a maioria das amostras estão longe do aceitável em termos de cor, a única exceção é a amostra 4G prateada. Este tipo de remoção deparou-se com um número significativo de amostras severamente danificadas: as amostras azuis 2G (só um dos provetes), 3G, 4G e 9G, e as amostras prateadas 2G, 3G, 4G, 8G e 11G. No entanto, um resultado satisfatório, onde as amostras reestabeleceram valores quase idêntico ao das amostras de referência, foram obtidos no caso do brilho em amostras não danificadas. Analisando a percentagem limpa após este tipo de limpeza, no caso das amostras azuis, 11 dos sistemas têm percentagens de área limpa inferiores a 55% e analisando o resultado nas amostras prateadas é ainda mais insatisfatório, com resultados inferiores a 20%, na maioria dos sistemas. Avaliando agora a rugosidade pontual existe um tipo de sistema que variou a sua rugosidade em todos tipos de amostras (referência, azuis e prateadas) e que não tem danos na sua superfície, sendo ele o sistema 1G. Nas amostras azuis as outras amostras que variaram a sua rugosidade foram amostras que se considerou que a superfície estava danificada (2G e 3G). Nas amostras prateadas, a única amostra que se considerou que mudou de rugosidade com superfície não danificada foi a amostra 9G. Concluindo com a análise da rugosidade usando o perfilómetro, nas amostras azuis, a amostra 5G restabeleceu os valores iniciais de Ra e Rz. Já a amostra 2G variou os seus valores de Ra, mas não repôs, pressupondo que essa variação é causada pelos estragos na superfície. À semelhança do que acontece com o removedor químico, a amostra 1G repôs os valores de Rz iniciais. As amostras prateadas 1G e 5G restabeleceram também os valores inicias de Ra e Rz.

Numa análise mais simplificada (Tabela 4.21), dividindo as amostras em dois grupos, as mais lisas (1G, 4G e 9G) e o resto das amostras, avalia-se quantas amostras têm os valores finais no interior do intervalo inicial composto pelo valor mínimo e máximo de cada parâmetro. Avaliando a cor, pode-se ver que mesmo as amostras de referência só com a aplicação do removedor químico ou o jato de água quente ficam com valores significativamente fora do intervalo (25% das amostras tanto no removedor químico como no jato de água). No caso do brilho, após o removedor químico nas amostras mais lisas, as amostras azuis e prateadas ficam com um maior número de amostras dentro do intervalo do que as amostras de referência. Nas amostras mais rugosas já não acontece o mesmo, são as amostras de referência que têm o melhor resultado. Já na rugosidade pontual, na maioria dos casos têm uma taxa de sucesso de 50%, exceto dois casos nas amostras mais lisas, um nas amostras azuis após jato de água e outro nas amostras prateadas após remoção química. Na rugosidade de perfilómetro, pode-se distinguir dois casos diferentes, ou seja, no removedor químico com uns resultados satisfatórios, e com jato de água um resultado insatisfatório, onde a maioria tem menos de 60% de amostras dentro do intervalo inicial.

Tabela 4.21 - Resumo da analise, percentagem de amostras com valores dentro do intervalo das amostras de referência na caracterização inicial (A= amostras mais lisas, ou seja 1G, 4G, 9G; B = todas as outras amostras).

			Antes de Aplicação		Azul		Prateada		Removedor Químico (%)			Jato de Água Quente (%)		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Referência	Azul	Prateada	Referência	Azul	Prateada
	Cor	L*	71	84	28,5(↓)	32(↓)	73(↑)	85,5(↑)	75,00	0,00	16,67	50,00	0,00	0,00
		a*	-0,35	0,8	7,5(↑)	8,5(↑)	-0,1(↑)	0,5(↓)	83,33	16,67	41,67	83,33	8,33	58,33
		b*	1	5	-23,6(↓)	-21,5(↓)	-0,5(↓)	0,18(↓)	75,00	0,00	16,67	75,00	0,00	0,00
		C*	1	5	23,3(↑)	25(↑)	0,11(↓)	0,51(↓)	75,00	8,33	58,33	75,00	0,00	25,00
A	Brilho	GU	1	2,2	4,76 (↑)	13,32 (↑)	7,77 (↑)	36,82 (↑)	33,33	66,67	66,67	33,33	33,33	33,33
B					0,64 (↓)	1,02 (↓)	5,46 (↑)	14,46 (↑)	100,00	11,11	88,89	100,00	0,00	33,33
A	Rug. Pontual	mm	0,467	0,580	0,409 (↓)	0,511 (↓)	0,394 (↓)	0,575 (↓)	66,67	100,00	0,00	66,67	0,00	66,67
B			0,680	1,035	0,629 (↓)	1,000 (↓)	0,698(↑)	1,035 (=)	77,78	55,56	66,67	77,78	66,67	66,67
A	Rug. Perfil	Ra(µm)	18,96	28,27	11,56(↓)	20,75(↓)	15,25(↓)	23,07(↓)	100,00	100,00	66,67	66,67	33,33	66,67
		Rz(µm)	75,76	100,9	45,01(↓)	75,05(↓)	57,46(↓)	81,68(↓)	100,00	66,67	66,67	33,33	33,33	66,67
B		Ra(µm)	42,13	58,61	24,85(↓)	48,24(↓)	29,72(↓)	49,86(↓)	100,00	55,56	66,67	44,44	66,67	55,56
		Rz(µm)	155,16	203,18	86,29(↓)	174,15(↓)	107,11(↓)	182,21(↓)	88,89	22,22	55,56	33,33	33,33	55,56

5 Conclusão e desenvolvimentos futuros

5.1 Conclusões gerais

Este estudo incidiu na caracterização das propriedades superficiais de 12 tipos de ETICS, com a aplicação de dois tipos de tinta de *graffiti* (cor azul e prateada) e após a sua limpeza através de uma metodologia sequencial de técnicas de limpeza (ação física com jato de água quente e ação química com removedor). A avaliação foi incidida nas seguintes propriedades da superfície dos ETICS: cor, brilho, rugosidade pontual, rugosidade com o perfilómetro. O efeito da limpeza das superfícies foi realizado recorrendo a uma taxa de limpeza através de análise macroscópica e de imagem

5.2 Conclusões finais

Na caracterização inicial, pode-se agrupar alguns sistemas estreitamente relacionados com a constituição da camada de acabamento e relativa rugosidadade. As amostras 10G, 11G e 12G são amostras que têm valores muito semelhantes em todas as propriedades e com um acabamento em acrílico similar. As amostras 1G, 4G e 9G têm rugosidade e brilho com valores semelhantes e variações mínimas na cor.

Após a caracterização inicial, pôde-se concluir que os graffiti alteram as características das superfícies. Em termos de cor, tanto a tinta azul como a prateada fez com que os valores de a*, b* e L* se aproximassem entre diferentes tipos de ETICS e, consequentemente, fez diminuir a variação de cor entre amostras. Em termos de brilho, verificou-se que ao aplicar as tintas as amostras dos sistemas 1G, 4G e 9G aumentaram significativamente os seus valores de brilho, diferenciando-se assim das restantes. Destacando-se as amostras dos sistemas 4G e 9G que têm acabamentos distintos das restantes: cal área e tinta de silicato, respetivamente. A rugosidade pontual destas amostras foi consideravelmente mais baixa do que a registada nas restantes.

Ao aplicar as tintas de *graffiti* por spray, em geral, as rugosidades pontuais mantiveram os valores semelhantes às de referência. Existem algumas exceções como as amostras menos rugosas, 1G, 4G e 9G. À semelhança do que aconteceu nas outras propriedades, na rugosidade com perfilómetro (microrugosidade), as amostras com valores diferentes das restantes são as amostras do sistema 1G, neste caso com valores de Ra e Rz muito inferior às restantes. Tanto ao aplicar a tinta azul como a prateada, todas as amostras reduziram os valores de Ra e Rz, exceto no sistema 6G. Conclui-se assim que a aplicação da tinta de *graffiti*, suaviza a superfície das amostras, como seria de esperar.

Em relação à metodologia de limpeza proposta, com base em procedimentos anteriores em pedra e argamassas, verificou-se que a mesma apresentou várias limitações, tais como produtos químicos e jato de água utilizados ou temperatura de água quente atingida. Outra limitação foi o número de amostras, que fez diminuir o espaço de manobra para fazer mais testes dos métodos de limpeza e, consequentemente, definir com mais certeza a metodologia de limpeza que seja apropriada para este tipo de amostra.

No que diz respeito à eficiência da metodologia de limpeza, pode-se dizer que as primeiras duas etapas, limpeza com escova de nylon e água fria e limpeza com escova de nylon e água quente, não conseguiram ser eficazes na limpeza, removendo pouca ou nenhuma tinta de *graffiti.*

Sendo assim, pôde-se verificar que tanto o método com jato de água quente como a remoção química são métodos muito agressivos e não compatíveis com a superfície dos ETICS, podendo assim concluir-se que os ETICS são sistemas muito sensíveis às ações impostas pelos agentes de limpeza. Com este estudo, conclui-se que a limpeza com o jato de água exerce uma elevada pressão na superfície das amostras, sendo desaconselhável. No caso da limpeza com removedor químico de base ácida, conclui-se que a sua utilização é demasiada agressiva para a superfície dos ETICS, podendo afetar a camada de isolante térmico (só no EPS).

Na limpeza com jato de água, as amostras que conseguiram maior percentagem limpa, também foram as amostras mais danificadas pelo método. Como referido, todas as amostras tiveram alterações em pelo menos uma das propriedades superficiais. Ao comparar a cor, conclui-se que nenhuma das amostras teve resultados satisfatórios, exceto um tipo do sistema (4G prateada). Na rugosidade pontual, a maioria das amostras (5G, 6G, 7G, 11G e 12G) com a superfície não danificada não variaram a sua rugosidade. As únicas amostras que se pôde considerar com uma alteração de rugosidade são as do sistema com menor rugosidade (1G). Já na microrugosidade, os resultados não são conclusivos, ou seja, as únicas amostras que reestabeleceram os valores iniciais foram as amostras dos sistemas 5G e 1G (prateadas). No caso do brilho, todas as amostras repuseram os valores satisfatórios.

Por outro lado, a utilização do removedor químico teve um resultado mais satisfatório em termos de área limpa, comparativamente ao jato de água (mesmo assim longe do pretendido). Só dois tipos de amostra é que se consideraram com resultados aceitáveis, os sistemas 4G (prateadas) e 9G (prateadas), ambas com isolante em cortiça e um acabamento em cal aérea e silicato, respetivamente. Em termos de variação de cor, com o removedor químico utilizado além de não ser possível alcançar um resultado satisfatório, as únicas amostras com valores de ΔE_{ab}^* próximos de 5 são as amostras prateadas dos sistemas 4G e 9G. Nas amostras de referência pode-se comprovar que a aplicação deste produto vai variar a cor nas paredes adjacentes ao *graffiti*. No entanto, pode-se considerar em todos os casos que se conseguiu restituir o valor inicial de brilho, um valor que a olho humano não é geralmente distinguível. À semelhança do jato de água a maioria das amostras não variaram a sua rugosidade pontual. Os sistemas que variaram a suas rugosidades pontuais foram o sistema 5G (acabamento em acrílico), nas amostras de referência e azuis, 2G (acabamento em acrílico), nas amostras azuis e prateadas, e 9G, nas amostras de referência e prateadas. Na microrugosidade, os sistemas que restituíram os valores iniciais tanto nas amostras azuis como as prateadas foram os sistemas 3G e 9G.

Concluindo, se esta análise for feita tendo em conta o acabamento final, pode-se concluir que para a correta avaliação do efeito tem-se de ter em conta além do acabamento final, a composição da tinta de *graffiti* e o tipo de remoção. Fazendo a conjugação dos três parâmetros, as amostras que tiveram melhor resultados foram as amostras 4G (acabamento em cal aérea) e

amostra 9G (acabamento em tinta de silicato), com a tinta de *graffiti* prateada (base acrílica) e após a remoção com um químico de pH ácido.

5.3 Desenvolvimentos futuros

Após a realização desta dissertação, destacam-se algumas sugestões para desenvolvimentos futuros para complementar o trabalho desenvolvido sobre *graffiti* em ETICS:

- analisar e comparar diferentes tipos de removedor químicos nos ETICS, de carácter ácido e básico;

- aplicar a metodologia em provetes de maior dimensão ou em aplicações reais;

- caracterizar as propriedades relacionadas com a água dos ETICS com *graffiti* e sua limpeza, utilizando outro removedor químico;

- estudar a eficácia das técnicas de anti-*graffiti* e de limpeza de *graffiti* nos ETICS;

- estudar a eficácia de métodos de remoção alternativos, ou seja, métodos menos utilizados ou a conjunção de dois métodos, nos ETICS;

- verificar a durabilidade das amostras através de ensaios de envelhecimento artificial acelerado, nomeadamente ciclos gelo / degelo, exposição a radiação UV e exposição a SO_2.

6 Referências Bibliográficas

Amaro, B., Saraiva, D., De Brito, J., and Flores-Colen, I. (2013). “Inspection and diagnosis system of ETICS on walls.” *Construction and Building Materials*, 47, 1257–1267.

Antúnez, V., Ortíz, P., Martin, J. ., Gómez, A., and Ortíz, R. (2012). “Comparative study of pulsed laser cleaning applied to weathered marble surfaces.” *Macla*, 68–69.

APFAC. (2016). *ETICS - Manual de Aplicação*. *2015*, (APFAC, ed.).

ASTM. (2014). “Standard Practice for Determination of the Effectiveness of Washing, Coating for Use on Concrete. Masonry and Natural Stone Surfaces by Pressure.” *ASTM International*, 06.

ASTM. (2018). “Standard Practice for Determination of Graffiti Resistance 1.” *ASTM International*, 06, 4–9.

Campos, R. M. D. O. (2009). “‘ All City ’ – Graffiti Europeu como modo de comunicação e transgressão no espaço urbano.” *Revista de Antropologia*, 52.01, 12–38.

Capucho, J. (2015). “Lisboa gasta um milhão por ano para limpar graffiti.” *Diário de Notícias*, <https://www.dn.pt/sociedade/lisboa-gasta-um-milhao-por-ano-para-limpar-graffiti-4922699.html> (Dec. 30, 2019).

Carmona-Quiroga, P. M. (2010). “Estudio del comportamiento de dos tratamientos antigraffiti como protectores de materiales de construcción: interacción antigraffiti-substrato, propiedades y durabilidad.” 420.

Carvalhão, M., and Dionísio, A. (2015). “Evaluation of mechanical soft-abrasive blasting and chemical cleaning methods on alkyd-paint graffiti made on calcareous stones.” *Journal of Cultural Heritage*, Elsevier Masson SAS, 16(4), 579–590.

Chapman, S. (2000). “Laser technology for graffiti removal.” *Journal of Cultural Heritage*, 1, 75–78.

Dimes, F. . G., and Ashurst, J. (1998). *Conservation of Building and Decorative Stone*. *Butterworth Heineman*.

Esteves, C. (2014). “O Comportamento de Hidrófugos de Superfície em Revestimentos Exteriores.” Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Contruções.

Expresso. (2016). “Argamassas e isolamentos térmicos.” *Expresso*, 17.

Feltes, J. (2020). “Water transport propeties of ETICS with graffiti and cleaning efficiency.” Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Contruções.

Freitas, V., and Gonçalves, P. (2005). “Isolamento térmico de fachadas pelo exterior - Reboco delgado armado sobre poliestireno expandido - ETICS.”

<https://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/ETICS.pdf> (Sep. 25, 2019).

Gambier, G. (2004). “Lyon’s painted walls of yesterday and today.” *La Taillanderie*, 30.

Gaspar, P., Hubbard, C., McPhail, D., and Cummings, A. (2003). “A topographical assessment and comparison of conservation cleaning treatments.” *Journal of Cultural Heritage*, Elsevier Masson SAS, 4(SUPPL. 1), 294–302.

Gomes, V. (2017). “Effectiveness of aged graffiti cleaning technologies on cultural heritage granite.” Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Ciências da Conservação.

Gomes, V., Dionísio, A., and Pozo-Antonio, J. S. (2017). “Conservation strategies against graffiti vandalism on Cultural Heritage stones: Protective coatings and cleaning methods.” *Progress in Organic Coatings*, 113, 90–109.

Gomes, V., Dionísio, A., Pozo-Antonio, J. S., Rivas, T., and Ramil, A. (2018). “Mechanical and laser cleaning of spray graffiti paints on a granite subjected to a SO2-rich atmosphere.” *Construction and Building Materials*, 188, 621–632.

ISO. (1996). “ISO 4288:1996 - Geometrical Product Specifications (GPS) — Surface texture: Profile method — Rules and procedures for the assessment of surface texture.” *INTERNATIONAL STANDARD*.

ISO. (2014). “ISO 2813:2014 - Paints and varnishes — Determination of gloss value at 20°, 60° and 85°.” *INTERNATIONAL STANDARD*, 2014.

Klemm, A. J., and Sanjeevan, P. (2008). “Effects of Laser Cleaning on Chemical Composition of Mortar Surfaces.” *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2(1), 233–238.

Leão, B. (2017). “Estudo da durabilidade do sistema ETICS em paredes exteriores através da isnpeção de edifícios.” Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Contruções.

Machado, T. P. A. (2011). “Graffiti Girl: contributos para uma identidade feminina no contexto da produção de graffiti e de street art em Portugal.” Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Contruções.

Major, M. J. (1995). “Endurance and achievement: The life of Francesco Pietro Morsilli.” *Construction Dimensions*, 20–35.

Marques, C., de Brito, J., and Silva, A. (2018). “Application of the factor method to the service life prediction of etics.” *International Journal of Strategic Property Management*, 22(3), 204–222.

Mokrzycki, W. S., and Tatol, M. (2011). “Colour difference ΔE- A survey.” *Machine Graphics and Vision*, 20(4), 383–411.

Montgomery, C. D., and Runger, G. C. (2006). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. John Wiley & Sons, New York.

Moura, A. (2014). “Estudo da eficácia das técnicas de prevenção e de limpeza de graffiti em paramentos Engenharia Civil.” Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Contruções.

Moura, A., Flores-Colen, I., and De Brito, J. (2016). “Study of the effect of three anti-graffiti products on the physical properties of different substrates.” *Construction and Building Materials*, 107, 157–164.

Moura, A., Flores-Colen, I., de Brito, J., and Dionisio, A. (2017). “Study of the cleaning effectiveness of limestone and lime-based mortar substrates protected with anti-graffiti products.” *Journal of Cultural Heritage*, Elsevier Masson, 24, 31–44.

“Objectives | European Association for ETICS (EAE).” (n.d.). <https://www.ea-etics.eu/eae/objectives/> (Apr. 10, 2020).

Ortiz, P., Antúnez, V., Ortiz, R., Martín, J. M., Gómez, M. A., Hortal, A. R., and Martínez-Haya, B. (2013). “Comparative study of pulsed laser cleaning applied to weathered marble surfaces.” *Applied Surface Science*, 283, 193–201.

Pozo-Antonio, J. S., Rivas, T., Jacobs, R. M. J., Viles, H. A., and Carmona-Quiroga, P. M. (2018). “Effectiveness of commercial anti-graffiti treatments in two granites of different texture and mineralogy.” *Progress in Organic Coatings*, Elsevier, 116, 70–82.

Rhopoint Instruments. (n.d.). “What difference in gloss units is visible to the human eye? | Rhopoint Instruments.” <https://www.rhopointinstruments.com/faqs/what-difference-in-gloss-units-is-visible-to-the-human-eye/> (Mar. 25, 2020).

Rivas, T., Pozo, S., Fiorucci, M. P., López, A. J., and Ramil, A. (2012). “Nd:YVO4 laser removal of graffiti from granite. Influence of paint and rock properties on cleaning efficacy.” *Applied Surface Science*, North-Holland, 263, 563–572.

Samolik, S., Walczak, M., Plotek, M., Sarzynski, A., Pluska, I., and Marczak, J. (2015). “Investigation into the removal of graffiti on mineral supports: Comparison of nano-second Nd:YAG laser cleaning with traditional mechanical and chemical methods.” *Studies in Conservation*, 60, 58–64.

Sanmartín, P., Cappitelli, F., and Mitchell, R. (2014). “Current methods of graffiti removal: A review.” *Construction and Building Materials*, 71, 363–374.

Simonot, L., and Elias, M. (2003). “Color change due to surface state modification.” *Color Research and Application*, 28(1), 45–49.

Veiga, M. do R., and Malanho, S. (2010). “Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes.” *3.º Congresso Português de Argamassas de Construção*.

Weaver, M. E. (1995). *Removing Graffiti from Historic Masonry*. *U.S. Department of the Interior, National Park Service, Cultural Resources, Preservation Assistance*.

Whitford, M. j. (1992). *Getting Rid of Graffiti: A practical guide to graffiti removal and anti-graffit protection*.

Ximenes, S. F., BRITO, J. de, GASPAR, P., and SILVA, A. (2015). “Modelling the degradation and service life of ETICS in external walls.” . *Materials and Structures*, 48 (7), 2235–2249.

Yonehara, M., Matsui, T., Kihara, K., Isono, H., Kijima, A., and Sugibayashi, T. (2004). “Experimental relationships between surface roughness, glossiness and color of chromatic colored metals.” *Materials Transactions*, 45(4), 1027–1032.

Anexo - Resultados individuais da campanha experimental

A.1 Digitalização dos perfis das amostras no estado inicial e após limpeza. (imagens 5x5cm)

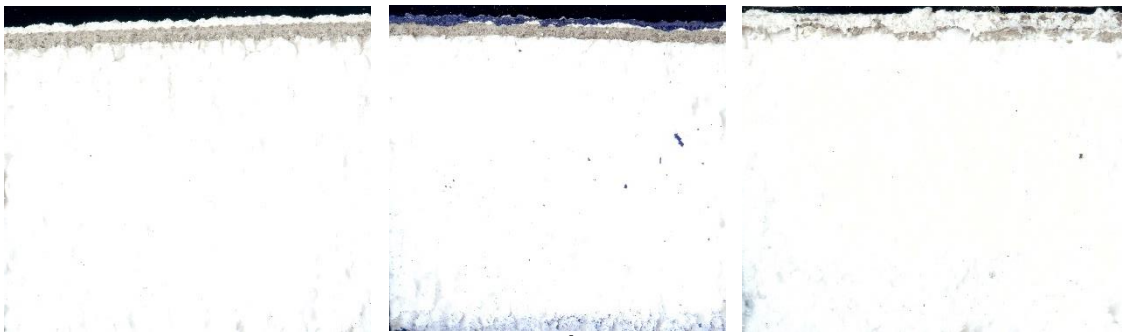
1G

ANTES **JATO DE ÁGUA** **REMOVEDOR**

2G

ANTES **JATO DE ÁGUA** **REMOVEDOR**

3G



ANTES **JATO DE ÁGUA** **REMOVEDOR**

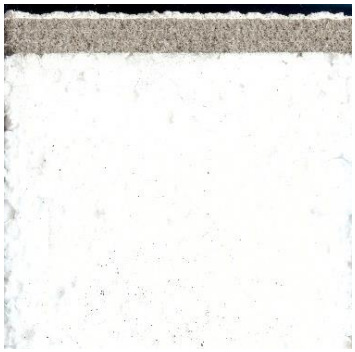
4G

ANTES **JATO DE ÁGUA** **REMOVEDOR**

5G

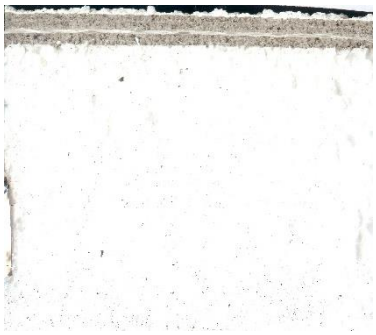
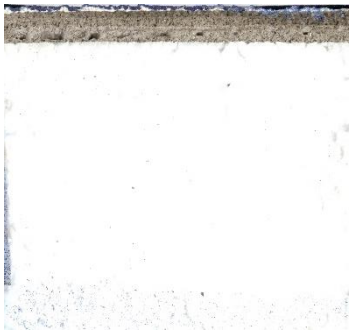
ANTES **JATO DE ÁGUA (Azul)** **REMOVEDOR (Prateado)**

6G



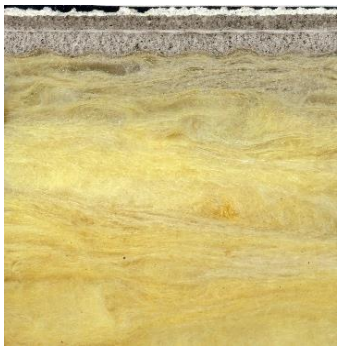
ANTES **JATO DE ÁGUA (Azul)** **REMOVEDOR (Prateada)**

7G

ANTES **JATO DE ÁGUA (Azul)** **REMOVEDOR (Prateada)**

8G



ANTES **JATO DE ÁGUA (Azul)** **REMOVEDOR (Prateada)**

9G

ANTES

JATO DE ÁGUA (Azul)

REMOVEDOR (Prateada)

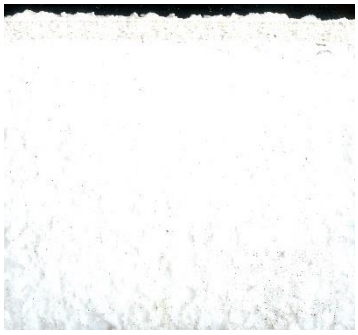
10G

ANTES

JATO DE ÁGUA (Azul)

REMOVEDOR (Prateada)

11G



ANTES

JATO DE ÁGUA (Azul)

REMOVEDOR (Prateada)

12G

ANTES

JATO DE ÁGUA (Azul)

REMOVEDOR (Prateada)

A.2 Valores médios e desvios padrão de brilho obtidos nas amostras de referência, azuis e prateadas na caracterização inicial

	Referência (GU)		Azul (GU)		Prateado (GU)	
ETICS	**Média**	**Desvio Padrão**	**Média**	**Desvio Padrão**	**Média**	**Desvio Padrão**
1G	1,94	0,11	4,76	0,65	27,17	2,59
2G	1,94	0,08	2,68	0,29	14,54	2,65
3G	1,47	0,05	1,02	0,15	8,20	0,41
4G	2,20	0,09	4,86	0,82	7,77	1,96
5G	1,04	0,08	0,93	0,30	6,74	0,93
6G	1,31	0,03	0,81	0,23	5,46	0,43
7G	1,38	0,06	1,02	0,13	5,89	1,09
8G	1,32	0,06	0,86	0,33	5,90	0,97
9G	2,10	0,07	13,32	3,72	36,82	5,54
10G	1,31	0,06	0,64	0,21	5,67	1,51
11G	1,41	0,03	0,69	0,14	5,53	0,85
12G	1,41	0,03	0,71	0,16	5,49	0,96
13G	1,41	0,03	0,72	0,11	5,67	0,75

A.3 Valores médios de cor obtidos nas amostras de referência

		FASE 0				FASE 1				FASE 2				FASE QUÍMICA				FASE JACTO			
		L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*
REFERÊNCIA	1G	77,55	-0,16	2,10	2,11	85,46	-0,21	1,15	1,17	86,16	-0,28	1,11	1,15	84,73	-0,24	0,87	0,91	83,81	-0,21	1,24	1,26
	2G	80,07	-0,36	1,26	1,32	86,00	-0,43	0,68	0,83	87,32	-0,53	0,69	0,88	84,26	-0,58	3,02	3,08	83,99	-0,71	3,05	3,13
	3G	76,27	-0,38	4,20	4,22	82,89	-0,48	3,98	4,01	85,52	-0,65	3,97	4,02	83,84	-0,62	4,22	4,27	82,89	-0,71	3,30	3,38
	4G	80,62	0,38	3,63	3,65	87,53	0,24	3,90	3,91	88,10	0,16	4,20	4,20	87,48	0,33	4,25	4,26	85,69	0,12	7,28	7,28
	5G	71,71	0,79	3,94	4,02	79,19	0,57	3,79	3,83	81,38	0,52	3,85	3,89	81,41	0,48	4,55	4,57	80,52	0,48	4,62	4,64
	6G	76,56	0,32	3,75	3,77	82,56	0,27	3,44	3,45	83,55	0,23	3,55	3,55	78,20	0,36	4,28	4,29	82,35	0,29	4,65	4,66
	7G	77,95	0,09	3,75	3,75	84,44	0,08	3,12	3,12	86,15	0,03	3,14	3,14	81,29	0,19	3,24	3,25	84,61	-0,03	3,41	3,41
	8G	77,51	0,05	4,83	4,83	84,05	0,22	3,47	3,47	84,52	0,18	3,56	3,56	82,41	0,23	4,16	4,17	83,62	0,27	4,78	4,79
	9G	83,13	0,15	1,70	1,71	89,66	-0,06	1,67	1,67	90,01	-0,08	1,62	1,62	83,18	0,35	2,41	2,44	89,23	-0,07	1,36	1,36
	10G	78,58	0,57	4,04	4,08	82,29	0,60	3,95	4,00	84,30	0,48	4,07	4,10	81,11	0,60	4,88	4,91	84,29	0,42	4,96	4,98
	11G	81,03	0,30	4,15	4,16	84,63	0,41	3,98	4,01	86,10	0,32	4,08	4,09	82,77	0,35	5,08	5,09	85,07	0,31	5,07	5,08
	12G	80,62	0,28	4,94	4,95	83,67	0,56	4,20	4,24	85,90	0,46	4,38	4,41	83,65	0,46	5,52	5,54	85,06	0,51	5,49	5,51

Nota: **- Fase 0: Caracterização inicial**

- Fase 1: Após limpeza com escova de nylon e água fria

- Fase 2: Após limpeza com escova de nylon e água quente

A.4 Valores médios de cor obtidos nas amostras azuis

		FASE 0				FASE 1				FASE 2				FASE QUÍMICA				FASE JACTO			
		L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*
AZUIS	1G	31,40	7,71	-21,99	23,31	31,91	7,90	-22,82	24,15	31,96	7,81	-22,61	23,92	44,08	4,42	-18,75	19,27	61,24	1,59	-11,38	11,61
	2G	30,76	7,72	-21,98	23,30	31,45	7,93	-23,01	24,34	31,35	7,88	-22,64	23,97	64,10	0,27	-5,10	5,11	51,34	2,96	-10,67	11,07
	3G	29,19	8,03	-22,61	23,99	29,67	8,28	-23,40	24,83	29,73	8,19	-23,42	24,81	60,38	0,41	-5,86	5,88	59,37	1,13	-5,49	5,60
	4G	30,90	7,68	-22,04	23,34	31,83	7,92	-22,94	24,27	31,78	7,90	-22,88	24,20	62,37	1,30	-11,68	11,76	77,33	0,55	2,14	3,01
	5G	28,90	8,17	-23,12	24,52	29,32	8,31	-23,66	25,08	29,48	8,31	-23,76	25,17	58,04	1,17	-8,64	8,72	57,93	1,46	-6,22	6,39
	6G	28,51	8,12	-22,97	24,36	29,14	8,31	-23,65	25,07	29,39	8,37	-23,88	25,30	57,24	0,89	-7,00	7,06	53,46	2,01	-8,50	8,73
	7G	28,92	8,27	-23,39	24,81	29,31	8,34	-23,70	25,12	29,21	8,24	-23,54	24,94	51,38	2,45	-13,33	13,55	45,61	3,17	-14,61	14,95
	8G	28,79	8,13	-22,97	24,36	29,31	8,31	-23,65	25,07	29,38	8,27	-23,64	25,04	59,58	1,06	-7,61	7,68	53,14	1,94	-8,74	8,96
	9G	31,59	7,76	-22,16	23,48	32,12	7,88	-22,63	23,96	32,29	7,88	-22,79	24,11	63,81	1,89	-10,82	10,98	51,07	3,68	-12,19	12,74
	10G	28,39	8,34	-23,28	24,73	28,73	8,35	-23,53	24,97	28,89	8,32	-23,51	24,94	51,15	2,43	-13,00	13,23	52,87	2,26	-8,48	8,77
	11G	28,60	8,29	-23,27	24,70	28,70	8,28	-23,29	24,72	28,76	8,29	-23,30	24,73	49,23	2,68	-13,18	13,45	50,96	2,43	-9,33	9,64
	12G	28,56	8,41	-23,52	24,98	28,79	8,41	-23,63	25,08	29,02	8,47	-23,90	25,35	51,94	1,75	-9,56	9,72	52,55	2,14	-8,92	9,18

Nota: **- Fase 0: Caracterização inicial**

- Fase 1: Após limpeza com escova de nylon e água fria

- Fase 2: Após limpeza com escova de nylon e água quente

A.5 Valores médios de cor obtidos nas amostras prateadas

		FASE 0				FASE 1				FASE 2				FASE QUÍMICA				FASE JACTO			
		L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*	L*	a*	b*	C*
PRATEADAS	1G	84,50	0,05	0,18	0,19	81,41	0,03	-0,13	0,22	79,83	-0,04	-0,38	0,38	65,59	-0,51	-0,91	1,31	62,47	-0,26	-1,31	1,33
	2G	81,64	0,02	-0,01	0,11	78,60	-0,02	-0,30	0,30	78,20	-0,06	-0,60	0,61	65,60	-0,61	-0,19	0,85	68,84	-0,68	1,84	1,97
	3G	77,54	-0,03	-0,19	0,20	74,11	-0,06	-0,60	0,61	74,19	-0,13	-0,79	0,80	64,24	-0,67	0,13	0,96	66,33	-0,63	0,69	0,95
	4G	80,41	-0,06	-0,18	0,20	70,49	-0,15	-0,91	0,92	71,44	-0,18	-0,99	1,01	76,52	-0,37	6,31	6,32	83,88	-0,27	10,25	10,25
	5G	76,20	-0,09	-0,41	0,42	71,79	-0,13	-0,80	0,81	70,40	-0,13	-0,82	0,84	65,26	-0,29	0,76	1,21	61,77	-0,28	-0,24	0,42
	6G	75,93	-0,09	-0,41	0,42	72,31	-0,13	-0,82	0,83	70,73	-0,17	-0,96	0,98	62,07	-0,25	0,53	1,10	60,11	-0,26	-0,61	0,67
	7G	76,73	-0,10	-0,50	0,51	74,15	-0,14	-0,84	0,85	70,81	-0,16	-0,96	0,97	62,30	-0,40	-0,52	1,08	62,58	-0,37	-1,13	1,19
	8G	76,28	-0,07	-0,29	0,30	74,55	-0,13	-0,82	0,83	71,85	-0,19	-0,91	0,93	68,59	-0,19	1,21	1,26	61,55	-0,32	-0,56	0,66
	9G	85,14	0,05	0,12	0,15	81,11	-0,03	-0,51	0,51	72,64	-0,18	-0,92	0,93	75,71	0,07	1,06	1,62	65,39	-0,25	-1,03	1,08
	10G	74,59	-0,05	-0,36	0,37	73,28	-0,13	-0,92	0,93	78,04	-0,11	-0,68	0,69	65,17	-0,30	0,21	0,66	63,91	-0,24	-0,58	0,63
	11G	74,91	-0,06	-0,40	0,40	73,61	-0,17	-1,02	1,03	69,90	-0,15	-0,94	0,95	62,63	-0,28	-0,67	0,73	68,03	-0,20	1,04	1,11
	12G	73,31	-0,05	-0,36	0,37	72,65	-0,25	-1,01	1,04	70,61	-0,18	-1,02	1,03	63,51	-0,18	0,82	1,05	65,44	-0,29	0,51	0,66

Nota: **- Fase 0: Caracterização inicial**

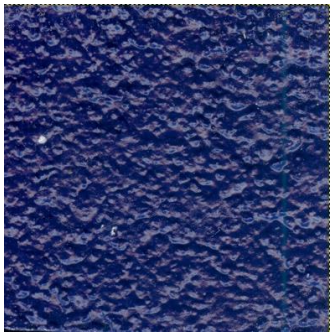
- Fase 1: Após limpeza com escova de nylon e água fria

- Fase 2: Após limpeza com escova de nylon e água quente

A.6 Exemplos da evolução das superfícies ao longo das limpezas (imagens 5x5cm)

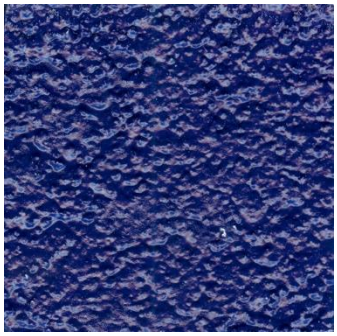
2G13

Fase de caracterização inicial

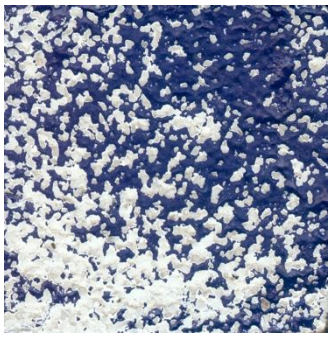


Após limpeza com escova de nylon e água fria

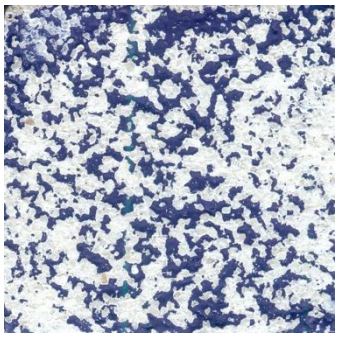
Após limpeza com escova de nylon e água quente



Após limpeza com jato de água quente



Após 2º limpeza com removedor químico (2G15)



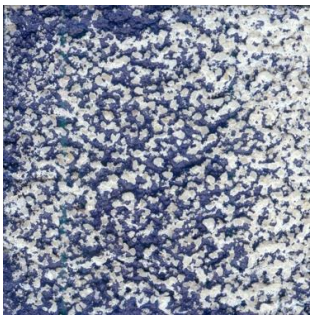
8G14

Fase de caracterização inicial

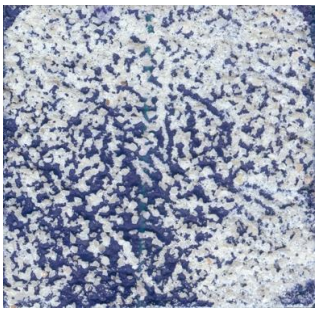
Após limpeza com escova de nylon e água fria

Após limpeza com escova de nylon e água quente

Após limpeza com jato de água quente



Após 2º limpeza com removedor químico (8G13)



3G16

Fase de caracterização inicial

Após limpeza com escova de nylon e água fria

Após limpeza com escova de nylon e água quente

Após limpeza com jato de água quente

Após 2º limpeza com removedor químico (3G17)

12G17

Fase de caracterização inicial

Após limpeza com escova de nylon e água fria

Após limpeza com escova de nylon e água quente

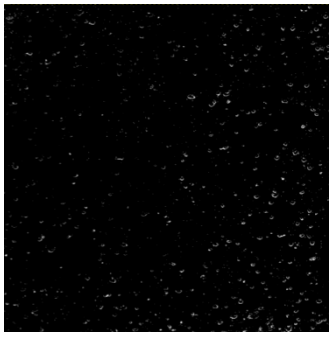
Após limpeza com jato de água quente

Após 2º limpeza com removedor químico (12G16)

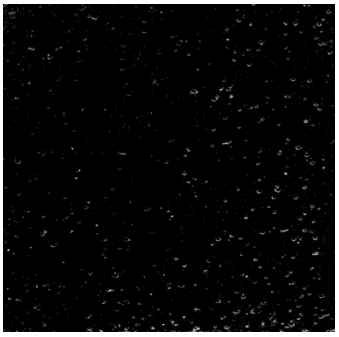
A.7 Exemplos das superfícies 9G13 e 6G13 binarizadas no GIMP (imagens 5x5cm)

9G13

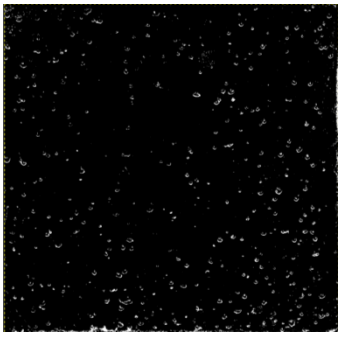
Fase de caracterização inicial



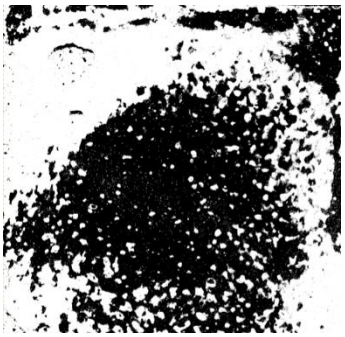
Após limpeza com escova de nylon e água fria



Após limpeza com escova de nylon e água quente



Após limpeza com jato de água quente



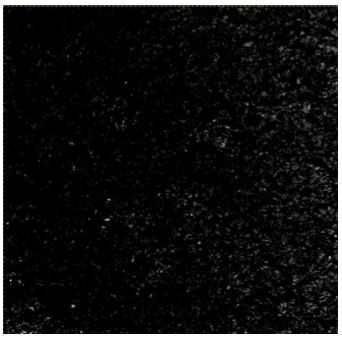
Após 2º limpeza com removedor químico (9G14)

5G13

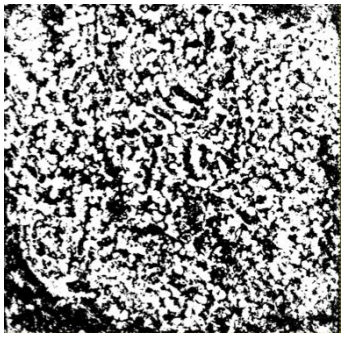
Fase de caracterização inicial

Após limpeza com escova de nylon e água fria

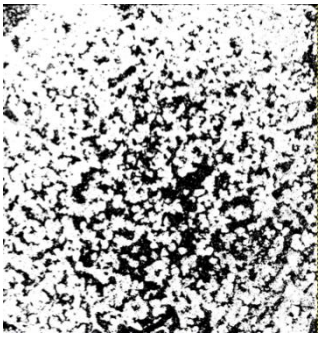
Após limpeza com escova de nylon e água quente



Após limpeza com jato de água quente



Após 2º limpeza com removedor químico (5G14)



A.8 T-teste para hipóteses de igualdade ou com uma diferença insignificativa das médias nas amostras azuis e prateadas e comparação com as amostras de referência

Tipo de ETICS	Azul			Prateado		
	Stat t	t Crítico	Resul.	Stat t	t Crítico	Resul.
1G	2,056	2,548	Dif	2,056	0,149	Igual
2G		2,817	Dif		0,727	Igual
3G		-0,109	Igual		-1,543	Igual
4G		1,055	Igual		0,715	Igual
5G		1,417	Igual		1,790	Igual
6G		-0,718	Igual		1,250	Igual
7G		2,143	Dif		3,215	Dif
8G		-0,355	Igual		0,101	Igual
9G		6,187	Dif		9,662	Dif
10G		0,207	Igual		-0,479	Igual
11G		0,772	Igual		0,091	Igual
12G		0,071	Igual		-0,786	Igual

A.9 T-teste para hipóteses de igualdade ou com uma diferença insignificativa das médias nas amostras de referência, azuis e prateadas e comparação com as amostras de referência no estado inicial

	Amostras de Referência					
Tipo de ETICS	Jato de água quente			Removedor químico		
	Stat t	t Crítico		Stat t	t Crítico	
1G	2,110	3,246	Dif	2,110	0,578	Igual
2G		1,568	Igual		0,820	Igual
3G		-5,717	Dif		0,359	Igual
4G		-3,816	Dif		1,383	Igual
5G		1,567	Igual		2,750	Dif
6G		-0,395	Igual		-2,310	Dif
7G		0,596	Igual		0,702	Igual
8G		0,539	Igual		-0,725	Igual
9G		1,058	Igual		-2,824	Dif
10G		2,026	Igual		-0,553	Igual
11G		0,481	Igual		-0,233	Igual
12G		-0,149	Igual		-0,198	Igual

Amostras Azuis

Tipo de ETICS	Jato de água quente			Removedor químico		
	Stat t	t Crítico		Stat t	t Crítico	
1G		3,742	Dif		4,361	Dif
2G		3,544	Dif		2,294	Dif
3G		-1,807	Igual		2,447	Dif
4G		-3,224	Dif		-1,594	Igual
5G		-0,224	Igual		3,508	Dif
6G	2,110	1,170	Igual	2,110	-0,033	Igual
7G		0,580	Igual		5,647	Dif
8G		0,446	Igual		-0,619	Igual
9G		2,695	Dif		0,147	Igual
10G		0,222	Igual		0,892	Igual
11G		0,042	Igual		-0,374	Igual
12G		-0,076	Igual		0,764	Igual

Amostras Prateadas

Tipo de ETICS	Jato de água quente			Removedor químico		
	Stat t	t Crítico		Stat t	t Crítico	
1G		1,851	Igual		2,100	Igual
2G		-0,084	Igual		4,950	Dif
3G		-2,621	Dif		1,031	Igual
4G		-3,810	Dif		3,276	Dif
5G		1,079	Igual		1,787	Igual
6G	2,110	0,127	Igual	2,306	0,506	Igual
7G		1,701	Igual		2,691	Dif
8G		-1,274	Igual		0,006	Igual
9G		5,013	Dif		4,871	Dif
10G		0,237	Igual		-0,395	Igual
11G		0,040	Igual		-0,613	Igual
12G		1,901	Igual		-0,841	Igual

A.10 Valores médios e desvios padrão de Ra e Rz na caracterização inicial

Ra (µm)

		Media (µm)	Desv. Pad (µm)			Media (µm)	Desv. Pad (µm)
	Referência	21,33	2,57		Referência	48,18	13,26
1G	Azul	18,05	4,65	**7G**	Azul	42,52	7,76
	Prateado	17,91	4,54		Prateado	46,78	5,81
	Referência	42,13	4,25		Referência	58,14	10,52
2G	Azul	24,85	3,20	**8G**	Azul	42,92	7,97
	Prateado	29,72	4,42		Prateado	49,86	9,50
	Referência	49,67	6,59		Referência	18,96	3,03
3G	Azul	38,36	7,14	**9G**	Azul	11,56	3,78
	Prateado	38,89	8,18		Prateado	15,25	3,21
	Referência	28,27	5,64		Referência	52,13	6,63
4G	Azul	20,75	2,46	**10G**	Azul	42,14	8,34
	Prateado	23,07	6,84		Prateado	46,99	8,19
	Referência	51,71	7,76		Referência	58,61	7,07
5G	Azul	41,60	6,20	**11G**	Azul	43,89	6,07
	Prateado	41,25	4,28		Prateado	46,19	5,73
	Referência	42,65	9,31		Referência	52,84	7,96
6G	Azul	48,24	12,04	**12G**	Azul	43,07	4,76
	Prateado	48,59	8,57		Prateado	44,10	10,77

Rz

		Media (µm)	Desv. Pad (µm)			Media (µm)	Desv. Pad (µm)
	Referência	81,94	11,87		Referência	181,46	36,93
1G	Azul	62,59	14,17	**7G**	Azul	149,01	26,94
	Prateado	59,39	15,84		Prateado	162,77	16,92
	Referência	155,16	16,57		Referência	203,18	35,14
2G	Azul	86,29	10,29	**8G**	Azul	153,83	31,73
	Prateado	107,11	18,09		Prateado	182,21	26,86
	Referência	180,66	24,39		Referência	75,76	23,55
3G	Azul	125,81	23,50	**9G**	Azul	45,01	18,45
	Prateado	138,36	33,09		Prateado	57,46	19,47
	Referência	100,90	23,44		Referência	181,81	23,40
4G	Azul	75,05	12,36	**10G**	Azul	151,54	40,16
	Prateado	81,68	26,69		Referência	162,49	31,55
	Referência	183,28	36,45		Referência	195,28	20,26
5G	Azul	149,26	26,94	**11G**	Azul	156,90	12,98
	Prateado	145,82	18,17		Prateado	154,86	13,41
	Referência	169,83	31,58		Referência	171,49	23,91
6G	Azul	174,15	41,66	**12G**	Azul	150,52	17,10
	Prateado	170,68	17,74		Prateado	155,72	34,34

A.11 Ensaio de rugosidade (perfilómetro) após a limpeza com removedor químico

Ra (µm)

		Média	Desv. Pad			Média	Desv. Pad
	Branco	23,71	3,95		Branco	56,81	1,71
1G	Azul	22,76	0,85	**7G**	Azul	44,26	1,69
	Prateado	20,88	0,35		Prateado	53,12	9,76
	Branco	55,31	0,05		Branco	50,22	6,03
2G	Azul	24,54	1,76	**8G**	Azul	43,87	8,80
	Prateado	25,77	8,02		Prateado	38,78	11,52
	Branco	49,05	6,42		Branco	25,54	6,04
3G	Azul	48,94	18,27	**9G**	Azul	20,27	15,43
	Prateado	49,15	6,06		Prateado	17,23	3,08
	Branco	25,03	1,07		Branco	57,33	9,20
4G	Azul	26,46	2,35	**10G**	Azul	37,55	1,43
	Prateado	21,23	0,61		Prateado	55,22	4,39
	Branco	49,02	11,68		Branco	56,86	1,12
5G	Azul	33,85	4,91	**11G**	Azul	40,67	4,10
	Prateado	46,81	17,87		Prateado	44,64	3,40
	Branco	50,35	4,65		Branco	45,32	1,08
6G	Azul	55,73	5,67	**12G**	Azul	45,86	16,29
	Prateado	38,14	9,02		Prateado	55,22	4,39

Rz (µm)

		Média	Desv. Pad			Média	Desv. Pad
	Branco	82,07	14,30		Branco	188,60	3,46
1G	Azul	85,19	8,37	**7G**	Azul	146,65	8,61
	Prateado	80,87	2,29		Prateado	187,73	84,81
	Branco	178,98	12,53		Branco	198,95	48,38
2G	Azul	79,81	2,06	**8G**	Azul	131,25	12,69
	Prateado	95,40	17,34		Prateado	139,83	20,79
	Branco	176,69	23,73		Branco	101,00	21,30
3G	Azul	166,91	53,94	**9G**	Azul	79,63	54,61
	Prateado	176,74	21,56		Prateado	69,00	16,11
	Branco	85,77	2,80		Branco	210,04	29,43
4G	Azul	107,11	6,15	**10G**	Azul	123,84	4,50
	Prateado	92,23	15,38		Prateado	180,38	1,94
	Branco	172,42	18,83		Branco	198,75	0,59
5G	Azul	121,44	1,53	**11G**	Azul	141,47	8,89
	Prateado	161,33	53,99		Prateado	153,54	3,63
	Branco	191,42	9,47		Branco	163,17	12,53
6G	Azul	200,58	33,41	**12G**	Azul	153,09	42,17
	Prateado	137,52	5,87		Prateado	180,38	1,94

Nota: Valor em cizento são os valores que estão fora do intervalo de semelhança das amostras de referência.

A.12 Ensaio de rugosidade (perfilómetro) após a limpeza com jato de água quente

Ra (µm)

		Media	Desv. Pad			Media	Desv. Pad
1G	Branco	22,32	1,03	7G	Branco	50,05	7,29
	Azul	21,93	5,05		Azul	41,46	10,90
	Prateado	23,28	6,72		Prateado	53,35	10,22
2G	Branco	38,24	4,51	8G	Branco	-	-
	Azul	20,63	2,59		Azul	42,63	5,52
	Prateado	-	-		Prateado	-	-
3G	Branco	62,81	5,56	9G	Branco	19,48	5,37
	Azul	-	-		Azul	-	-
	Prateado	-	-		Prateado	23,28	2,21
4G	Branco	-	-	10G	Branco	-	-
	Azul	-	-		Azul	44,54	12,57
	Prateado	-	-		Prateado	54,31	2,73
5G	Branco	47,77	13,05	11G	Branco	-	-
	Azul	50,60	4,64		Azul	42,75	1,53
	Prateado	51,22	7,14		Prateado	-	-
6G	Branco	49,18	9,96	12G	Branco	49,29	13,01
	Azul	43,82	9,95		Azul	42,86	12,22
	Prateado	51,30	5,54		Prateado	50,31	11,15

Rz (µm)

		Media	Desv. Pad			Media	Desv. Pad
1G	Branco	78,82	1,90	7G	Branco	184,15	27,30
	Azul	89,78	23,33		Azul	153,79	48,06
	Prateado	83,40	27,72		Prateado	202,21	37,19
2G	Branco	138,77	13,20	8G	Branco	-	-
	Azul	77,21	16,42		Azul	155,68	29,62
	Prateado	-	-		Prateado	-	-
3G	Branco	220,13	24,55	9G	Branco	69,83	16,98
	Azul	-	-		Azul	-	-
	Prateado	-	-		Prateado	85,66	12,64
4G	Branco	-	-	10G	Branco	-	-
	Azul	-	-		Azul	152,12	45,81
	Prateado	-	-		Prateado	198,34	25,95
5G	Branco	191,87	42,71	11G	Branco	-	-
	Azul	194,11	19,97		Azul	154,77	23,73
	Prateado	172,29	36,72		Prateado	-	-
6G	Branco	166,41	29,92	12G	Branco	-	-
	Azul	169,05	58,88		Azul	144,71	51,33
	Prateado	191,43	8,27		Prateado	175,96	17,60

Nota: Valor em cizento são os valores que estão fora do intervalo de semelhança das amostras de referência.