



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

**Análise comparativa do desempenho de
álcool e óleos essenciais como soluções
mais eco-compátíveis para a
conservação de materiais pétreos.**

Dissertação de Mestrado

Joana Mesquita de Oliveira Muge

Mestrado em Conservação e Resaturo

Materiais Pétreos

Lisboa, Outubro 2022



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Joana Mesquita de Oliveira Muge

**Análise comparativa do desempenho de álcool e óleos essenciais
como soluções mais eco-compátíveis para a conservação de
materiais pétreos.**

Dissertação de Mestrado

Orientada por:

Maria João Revez -Nova Conservação, S.A.

Dissertação

apresentada ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre
em Conservação e Restauro

À minha avó

RESUMO

A remoção de colonizações biológicas em património edificado é das operações mais recorrentes numa intervenção de conservação e restauro. Na maioria dos casos, as soluções mais usadas são à base de sais de amónio quarternário, devido à sua eficácia, amplo espectro e relativa durabilidade. No entanto, estas apresentam índices de toxicidade, nocivos tanto para o operador como para o meio ambiente. Tendo em conta a preocupação crescente, em todos os sectores de actividade, com a redução de impactos ambientais, é pertinente – se não uma responsabilidade – que também a área da conservação e restauro procure alternativas mais sustentáveis e eco-compatíveis.

Partindo destes pressupostos, a investigação realizada no Jardim Botânico da Ajuda, Imóvel de Interesse Público, propôs-se comparar, através de um conjunto de testes numa balaustrada em pedra calcária, o biocida convencional Preventol® RI80 e duas soluções mais eco-compatíveis: o Biotersus® (à base de óleos essenciais) e o etanol a 70% em água destilada. Dado que a compatibilidade destes diferentes produtos com materiais pétreos foi já demonstrada, o objectivo principal dos ensaios foi o de contribuir para a elaboração de recomendações de aplicação em contexto de intervenção, tendo em conta não só a eficácia dos produtos, mas também a eficiência do procedimento – no que diz respeito, por exemplo, à necessidade de escovagem e ao dispêndio de água.

Neste sentido, foram elaborados diversos ensaios com as três soluções, variando as condições (i) de aplicação; (ii) de tempo de actuação; e (iii) de exposição à radiação solar durante actuação. A comparação dos resultados obtidos com os três biocidas testados foi realizada através de análise visual (macroscópica) e de análise colorimétrica, que permitiram aferir a eficácia das diferentes soluções e protocolos de aplicação.

Os resultados indicam que o etanol e os óleos essenciais têm uma eficácia igual ou superior à do biocida à base de sais de amónio quaternário, incluindo em termos da durabilidade da protecção. Dadas as suas características de facilidade de obtenção, relativo baixo custo e, sobretudo, menor toxicidade para operador e meio ambiente, o etanol parece constituir uma opção mais sustentável para acções activas e preventivas de eliminação de biocolonização sobre património construído.

Palavras-chave: Biocolonização; Biocidas; Etanol; Óleos essenciais; Eco-compatibilidade

ABSTRACT

The removal of biological colonization in built heritage is one of the most recurrent operations in conservation and restoration interventions. In most cases, the biocides used are solutions based on quarternary ammonium salts, due to their efficacy, broad biocidal range and perceived durability. However, these have high toxicity rates, harmful to both the operator and the environment. Considering the growing concern, in all disciplines and sectors, with reducing environmental impacts, it is relevant – if not a responsibility – that more sustainable and eco-compatible alternatives are also sought in heritage conservation and restoration. Based on these assumptions, the research carried out in Jardim Botânico da Ajuda, listed as a Public Interest Monument, proposes a comparison between the conventional biocide Preventol® RI80 and two more eco-compatible alternatives - Biotersus® (based in essential oils) and 70% ethanol in distilled water - through a set of tests on the limestone balustrade located on the Garden's west side. Since the compatibility of these different products with stone materials has already been demonstrated, the main objective of the tests was to contribute to the elaboration of application recommendations in an intervention context, taking into account not only the effectiveness of the products, but also the efficiency of the procedure – with regards, for example, to brushing and water consumption demands.

In this sense, several tests were carried out with the three biocidal solutions, varying the conditions of (i) application; (ii) operating time; and (iii) exposure to solar radiation during curing. The comparison of the results obtained with the three tested biocides was carried out through visual (macroscopic) analysis and colorimetric analysis, which allowed to assess the effectiveness of the different solutions and application protocols. The obtained results indicate that, in the biological colonization of Jardim Botânico da Ajuda, ethanol's efficacy is comparable to that of a biocide based on quaternary ammonium salts and superior to that of essential oils, including in terms of protection durability. Considering that ethanol is easy to obtain, relatively inexpensive and, above all, less toxic for the operator and the environment, it seems to be a more sustainable option for active and preventive actions to eliminate biocolonization from built heritage surfaces.

Keywords: Biocolonization; Biocides; Ethanol; Essential oils; Eco-compatibility

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Doutora Ana Luísa Soares, na qualidade de directora do Jardim Botânico da Ajuda, por ter aceitado a realização deste estudo.

Ao Nuno Proença, administrador da Nova Conservação, S.A., por ter acolhido e incentivado esta dissertação, pela receptividade e interesse demonstrados desde o primeiro momento.

À Doutora Teresa Caldeira, do Laboratório Hércules da Universidade de Évora, pela disponibilidade e partilha.

À minha orientadora, Maria João Revez, pelo incansável apoio, pelas inúmeras revisões de texto, pelas idas ao JBA, pelo tempo despendido. Por ter acreditado, quase sempre mais do que eu, que isto seria possível. Muito obrigada.

A toda equipa da NC, sem excepção, pela compreensão nas ausências, pelo carinho e apoio.

A toda a minha família, pelo amor incondicional.

À Teresa pela paciência, pelas palavras de aconchego nos momentos difíceis, por acreditar, também ela, que eu seria capaz. Obrigada por me fazeres rir.

Índice

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
Índice de imagens.....	vi
Índice de tabelas	vii
Índice de gráficos	viii
Lista de abreviaturas e siglas.....	ix
1. Introdução.....	1
1.1 Objectivos e estrutura da dissertação	1
1.2 Hipóteses de trabalho e delimitação do tema.....	2
2. Estado da arte	6
2.1 Surgimento e controlo de colonização biológica em materiais pétreos.....	6
2.1.1 Algumas condicionantes do surgimento de colonização biológica em superfícies pétreas	6
2.1.2 Métodos de controlo de biofilmes em materiais pétreos	9
2.2. Soluções biocidas	12
2.2.1 Óleos essenciais	13
2.2.2 Etanol.....	14
2.3 Caso de estudo – Jardim Botânico da Ajuda	18
2.3.1 O Jardim Histórico como bem cultural	19
2.3.2 Contextualização e caracterização do JBA.....	20
3. Materiais e métodos.....	24
3.1 Elementos ensaiados	24
3.2 Biocidas testados	26
3.3 Protocolos de ensaio	27
3.3.1 Primeira série de ensaios.....	27
3.3.2 Segunda série de ensaios.....	30
3.4 Metodologias de avaliação	32
3.4.1 Eficácia – Avaliação macroscópica	34
3.4.2 Eficácia – Medições de cor.....	34
3.4.3 Avaliação da sustentabilidade	36
4. Resultados e discussão.....	37
4.1 Primeira série de testes	37
4.1.1 Eficácia – Avaliação macroscópica	37
4.1.2 Eficácia - Medições de cor	44
4.1.3 Avaliação da sustentabilidade	50
4.1.4 Anotações sobre a eficácia de longo-prazo	52
4.2 Segunda série de testes	58

4.2.1 Eficácia – Avaliação macroscópica	59
4.2.2 Eficácia - Medições de cor	63
4.2.3 Avaliação da sustentabilidade	67
4.3 Considerações adicionais	68
4.4 Recomendações para aplicação de etanol e Biotersus®	69
4.4.1 Tratamento de biofilmes no âmbito de uma intervenção de conservação e restauro	69
4.4.2 Manutenção.....	69
4.4.3 Ensaio de biocidas.....	69
5. Conclusões.....	71
6. Bibliografia.....	74
Anexos	79
Anexo 1: Registo fotográfico antes e depois das aplicações dos protocolos de ensaios.....	79
Anexo 2: Valores parcelares da avaliação da eficácia de todos os biocidas e respectivos protocolos	83
Anexo 3: Avaliação macroscópica da eficácia nos balaústres da primeira série de ensaios	85
Anexo 4: Eficácia macroscópica do biocida relativamente aos balaústres de controlo	87
Anexo 5: Variação dos parâmetros de cor por biocidade acordo com a realização ou não de pré-lavagem	90

Índice de imagens

Imagem 1: Escadaria do JBA	8
Imagem 2: Escadaria do JBA depois da intervenção	9
Imagem 3: Planta do JBA.....	18
Imagem 4: Pormenor da harmonia entre o património natural e o arquitectónico no JBA	20
Imagem 5: Balaustrada que separa os dois terraços desnivelados	21
Imagem 6: Fonte das 40 bicas do JBA	22
Imagem 7: Vista geral da balaústrada do lado poente	25
Imagem 8: Ilustração das áreas escuras e claras	33
Imagem 9: Sequência de registos realizados	33
Imagem 10: Pormenor da colonização biológica	33

Índice de tabelas

Tabela 1 Princípios usados para a elaboração de protocolos.....	5
Tabela 2 Principais características dos três biocidas usados.	27
Tabela 3 Primeira série de testes.	29
Tabela 4: Segunda série de testes.	31
Tabela 5 Calendário dos registos colorimétricos e fotográficos.....	32
Tabela 6: Médias (μ) e respectivos desvios-padrão (σ) das variações dos parâmetros de cor	44
Tabela 7: Registo fotográfico da evolução da actuação dos diferentes biocidas.....	53
Tabela 8: Valores CIELAB recolhidos com o colorímetro	54
Tabela 9: Registo fotográfico da evolução da actuação dos diferentes biocidas.....	61
Tabela 10: Valores recolhidos com o colorímetro.....	65

Índice de gráficos

Gráfico 1: Avaliação macroscópica da eficácia dos diferentes biocidas.....	38
Gráfico 2: Eficácia do biotersus a 2%	39
Gráfico 3: Eficácia macroscópica dos biocidas Preventol a 3%, Biotersus a 5% e etanol a 70%.....	40
Gráfico 4: Eficácia dos diferentes biocidas	41
Gráfico 5: Eficácia dos diferentes biocidas	42
Gráfico 6: Eficácia dos diferentes biocidas	43
Gráfico 7: Comparação da variação de L^*	45
Gráfico 8: Comparação da variação de ΔL^*	46
Gráfico 9: Comparação da variação de Δa^*	47
Gráfico 10: Comparação da variação de Δb^*	48
Gráfico 11: Variação dos parâmetros de cor	49
Gráfico 12: Variação dos parâmetros de cor	50
Gráfico 13 Sustentabilidade dos biocidas e protocolos testados.	51
Gráfico 14: Variação dos parâmetros de cor	55
Gráfico 15: Variação dos parâmetros de cor relativamente ao balaústre de controlo	56
Gráfico 16: Avaliação da eficácia dos dois biocidas.....	62
Gráfico 17: Variação dos parâmetros de cor	65
Gráfico 18: Avaliação da sustentabilidade dos protocolos da segunda série de testes...	67

Lista de abreviaturas e siglas

AAJBA – Associação dos Amigos do Jardim Botânico da Ajuda

ISA – Instituto Superior de Agronomia

ISO - Organização Internacional de Normalização

JBA – Jardim Botânico da Ajuda

NC – Nova Conservação, S.A.

ODS – Objectivos para o Desenvolvimento Sustentável

1. Introdução

A colonização biológica é, indiscutivelmente, uma questão central na preservação de materiais líticos em monumentos históricos. É, também ela, reponsável por alguns dos danos causados nestes materiais, pela sua capacidade de poliferação, uma vez que muitos dos organismos precisam, apenas, de água e luz para se desenvolverem. Considerando que os tratamentos que visam o combate a biofilmes são temporários, a interpretação deste problema tem necessariamente de ter uma abordagem que passe pelo controlo constante, deste modo evitando tratamentos invasivos prejudiciais ao substrato e sem uma eficácia permanente.

1.1 Objectivos e estrutura da dissertação

O objectivo principal deste estudo é a avaliação *in loco* e optimização do desempenho de álcool e óleos essenciais para a conservação de materiais pétreos, por comparação com o desempenho de um biocida convencional - solução de sais de amónio quaternário. A prossecução deste objectivo passou pelo desenvolvimento dos seguintes objectivos parcelares:

1. Elaborar programas de avaliação no terreno da eficácia e/ou compatibilidade de produtos de conservação, e respectivos protocolos, com base no contexto e objectivos da intervenção;
2. Realizar a análise comparativa dos produtos (e respectivos protocolos) em contexto de intervenção;
3. Ganhar familiaridade com métodos de ensaio aplicáveis no terreno/ em contexto de intervenção;
4. Definir protocolos e recomendações de aplicação a partir dos resultados obtidos;
5. Adquirir novos conhecimentos e novas competências técnicas relacionados com a especialidade;
6. Desenvolver a capacidade de integração dos conhecimentos de diferentes áreas relevantes para a compreensão de situações novas e complexas;
7. Desenvolver as capacidades de pesquisa.

A proposta de tema prende-se com a necessidade urgente de encontrar soluções mais sustentáveis e menos tóxicas para o ambiente e para quem as opera, garantindo, contudo, a eficácia (e compatibilidade) desejada.

O local escolhido para a realização destes ensaios foi o Jardim Botânico da Ajuda (JBA), classificado como Imóvel de Interesse Público (IIP) pelo Decreto n.º 33 587, DG, 1.ª série, n.º 63 de 27 março 1944 - por estar localizado na zona circundante do Palácio Nacional da Ajuda; e incluído na Zona Especial de Protecção do mesmo Palácio definida na Portaria do DG, 2.ª série, n.º 253 de 29 outubro 1959.

As razões desta escolha foram diversas, mas sem dúvida a mais importante decorre do facto de se tratar de um jardim histórico e, portanto, de um elemento patrimonial com características particulares. *Monumento vivo*, como é definido na Carta de Florença pela Comissão Internacional dos Jardins Históricos do ICOMOS-IFLA, um jardim histórico ostenta uma conexão perfeita entre as colecções de botânica e a arquitectura: “Um jardim histórico é uma composição arquitetónica e vegetal que, do ponto de vista da história ou da arte, apresenta um interesse público. Como tal, é considerado um monumento.” [ICOMOS-IFLA 1981: art.1º]. Uma intervenção de conservação e restauro num jardim exige, pois, cuidados específicos, pelo que é desejável que seja o mais inócua possível, não interferindo com a simbiose entre a arquitectura e a botânica.

Esta dissertação começa por reunir uma revisão da literatura que dá pelo título de Estado da Arte, que pretende melhor compreender as investigações que existem sobre esta mesma vontade de encontrar alternativas mais verdes aos convencionais tratamentos biocidas; e que inclui um subcapítulo de caracterização do objecto de estudo e seu contexto patrimonial, o JBA. São subsequentemente apresentados os capítulos dedicados à descrição dos materiais, métodos e procedimentos de ensaio alvo desta investigação e à apresentação, análise e discussão dos respectivos resultados; as recomendações elaboradas com base na discussão de resultados integram igualmente estes capítulos. Por fim, são apresentadas algumas conclusões sobre o trabalho realizado.

1.2 Hipóteses de trabalho e delimitação do tema

A escolha do JBA prendeu-se, como já foi referido, com as particularidades de um jardim histórico, das quais decorre a necessidade de uma visão de conjunto – colecções botânicas e elementos estruturais – na abordagem conservativa. O desafio imposto visa o encontrar de uma solução de combate aos biofilmes presentes nos materiais pétreos de forma a que os tratamentos sejam tão inócuos quanto possível para os restantes elementos vivos do jardim. Dada a particular delicadeza do contexto ambiental, considera-se que uma fórmula/protocolo que seja eficaz e satisfatória no jardim, se-lo-á igualmente noutros

contextos patrimoniais comparáveis em termos de materiais líticos e exposição meteorológica.

Assim, definiu-se que o biocida convencional Preventol® RI80 seria comparado com duas soluções menos tóxicas (inferiores valores de DL50) – etanol e uma formulação à base de óleos essenciais –, procurando encontrar soluções com índices de toxicidade mais baixos. Pretendia-se aferir se alguma destas duas soluções menos tóxicas, usadas separadamente e sujeitas às mesmas condições, tinham uma eficácia pelo comparável à do Preventol® RI80. Os ensaios foram pensados para um calcário Lioz, pedra usada nos elementos arquitectónicos do JBA, e que é uma pedra de cor clara e relativa homogeneidade com vasta aplicabilidade em bens culturais, sobretudo na região de Lisboa; o Lioz é ainda um material que está muito estudado, incluindo padrões de bioreceptividade, e que, pela sua qualidade e resistência, apresenta muitas vezes baixos graus de degradação, como ocorre no JBA – as superfícies pétreas do jardim, e nomeadamente dos balaústres, apresentam como questão conservativa principal a extensão dos seus biofilmes. Foi, portanto, com base no Lioz do JBA que se definiu um protocolo para o tratamento de colonização biológica com o recurso a biocidas com teores de toxicidade mais baixos para o operador e para o meio ambiente.

As recomendações finais para o uso e aplicação destes biocidas seguiram os princípios usados no desenvolvimento dos protocolos de ensaio; são eles:

- a compatibilidade, na interacção dos produtos com o objecto, a curto e longo prazo, garantindo a não-nocividade química para os materiais líticos. Todas as soluções testadas, e respectivos protocolos de aplicação, foram escolhidas por já terem assegurada esta não-nocividade química, de curto e longo prazo;
- a eficácia, na remoção da colonização biológica dos materiais líticos;
- a durabilidade (que pode ser contemplada como uma eficácia de longo prazo) do efeito biocida, e possibilidades de aplicação no âmbito de acções de manutenção;
- a sustentabilidade/eco-compatibilidade, garantindo que a acção de limpeza do objecto não prejudica a envolvente ambiental; que a toxicidade da acção para os operadores é minimizada; e que as intervenções são pensadas e estruturadas tendo em conta os recursos do planeta, em particular, a água.

A tabela que se segue foi usada na construção dos protocolos referidos, partindo destes três princípios e identificando quais os parâmetros de análise para cada um, como seria feita a sua avaliação e por fim qual a importância relativa dos três critérios, no caso, na

óptica da direcção do JBA, em debate com a conservação e restauro. Esta importância relativa é um dos factores de relevância na discussão do *como* e do *porquê* seguir uma determinada linha de intervenção. Esta percentagem foi recolhida no início dos trabalhos, através das conversas que surgiram em torno dos métodos a aplicar e dos resultados finais, tal como perspectivados pela Doutora Ana Luísa Soares, directora do JBA.

Crítérios	Indicador	Avaliação	Importância relativa no JBA
Compatibilidade	Não-nocividade para os materiais líticos a curto e longo prazo	Dada por adquirida por ter presidido à selecção dos produtos e protocolos de ensaio	-
Eficácia	Remoção da colonização biológica	- Análise visual (macroscópica) - Análise colorimétrica	30%
Durabilidade	Tempo decorrido antes da recolonização	- Análise colorimétrica - Análise visual (macroscópica)	50%
Eco-compatibilidade	Toxicidade para o operador	- Análise de DL50 (Diluição Letal Mediana)	20%
	Toxicidade para o meio ambiente em geral	- Análise de fichas de segurança - Análise dos recursos	
	Consumo de recursos	consumidos na aplicação / tratamento	

Tabela 1 Princípios usados para a elaboração de protocolos.

- **Notas adicionais:**

Salvo indicação em contrário, as traduções das citações correspondem a traduções livres da autora da presente dissertação.

Ao longo do documento os termos álcool, álcool etílico e etanol são usados indiferentemente.

2. Estado da arte

Neste capítulo, far-se-á uma breve revisão da literatura que tem como objectivo enquadrar alguns pontos essenciais ao desenvolvimento da dissertação. Pretende-se que a sua leitura permita interligar as questões relativas à biodegradação de suportes pétreos com valor patrimonial e ao seu combate recorrendo ao uso de produtos biocidas eco-compatíveis.

2.1 Surgimento e controlo de colonização biológica em materiais pétreos

2.1.1 Algumas condicionantes do surgimento de colonização biológica em superfícies pétreas

É inevitável a presença de colonizações biológicas em materiais pétreos expostos às condições meteorológicas: sabendo que a luz solar e a água causam o desenvolvimento de microorganismos, são sobretudo estas condições, o grau de exposição das superfícies, e as características morfológicas destas últimas que determinam a intensidade da contaminação – pesem embora outros factores, e.g. a presença de poluentes no ambiente circundante, que irão igualmente condicionar as características dos organismos colonizadores.

A biodeterioração dos materiais pétreos é uma combinação da actividade biológica com fenómenos físicos e químicos, e a pedra reúne condições adequadas à proliferação de microorganismos devido às suas características químico-mineralógicas, à composição e textura [Miller *et al.* 2006]. Assim, a bioreceptividade da pedra – caracterizada pela sua textura, estrutura e composição química – é um factor relevante a ter em conta nas características da colonização biológica que sobre esta se fixa.

Os microorganismos são responsáveis por variados fenómenos de degradação da pedra, pois conseguem organizar-se em ecossistemas complexos, desenvolvendo-se de diferentes maneiras consoante as condições ambientais e as propriedades físico-químicas dos materiais líticos [Warscheid e Braams 2000].

Existe uma grande variedade de organismos, estimando-se que possam coexistir entre 100 000 a 1 000 000 microorganismos no interior ou na superfície de 1cm² de rocha. Esta variedade de organismos está organizada por categorias: bactérias, protoctistas (algas e protozoários), fungos e líquenes, plantas e animais. De uma forma geral, estes organismos subsistem e provocam danos nos substratos pétreos através de acções químicas directas, como a biocorrosão; ou porque são catalisadores de reacções químicas em processos de

hidrólise, sulfatação, etc.; ou, ainda, por acções físicas como a bioabrasão e a desagregação [Aires-Barros 2001].

Considerando que é impossível contornar as condições atmosféricas, haverá sempre colonização biológica sobre superfícies pétreas; tendo em conta os seus efeitos geralmente nefastos – ou, pelo menos, indesejáveis – é relevante avaliar o problema para o poder tratar. Segundo o esquema proposto por Caneva *et al.* [2000], deve colocar-se um conjunto de perguntas, cujas respostas permitem analisar qual a melhor metodologia de controlo da biodeterioração. Eventualmente, nem todas as situações necessitam ou consentem a realização de tratamentos biocidas. Por outro lado, nem sempre um ataque biológico é visível: quando não é visível macroscopicamente, e quando surgem dúvidas sobre a sua existência e/ou a extensão do seu dano, é necessário identificar os organismos presentes. Quanto à intervenção, importa perceber se esta é ou não viável e, ainda, qual a solução (ou soluções) mais idónea para controlar o desenvolvimento dos organismos. A extensão dos danos pode ser avaliada através da análise das características fisiológicas, morfológicas e estruturais das espécies presentes, bem como das características físico-químicas das pedras. E, consoante esta análise, pode averiguar-se se a eliminação dos organismos não vai provocar alterações no substrato.

A periodicidade de tratamentos curativos e preventivos (estes últimos no âmbito de planos de manutenção) e a durabilidade de um tratamento requerem igualmente um planeamento no sentido de minimizar a intrusividade das intervenções a que o objecto é sujeito e que, a médio/longo prazo, provocarão mais tensões e potenciais danos no material pétreo. Além disso, avaliar a consequência de um tratamento com biocida ao nível de futuras colonizações é pertinente, já que, em algumas situações, a eliminação de uns organismos dá lugar ao desenvolvimento de outros, potencialmente mais perniciosos, visto que se introduz um desequilíbrio na competição.

O aspecto estético do objecto é, muitas vezes, a razão pela qual se procede à eliminação da colonização biológica. Contudo, nem sempre a remoção desta última com recurso a biocidas permite devolver a cor original da pedra. Talvez por isso mesmo se recorra, erradamente, ao uso de métodos mais invasivos, como é o caso de jactos de material abrasivo ou ciclos de tratamentos biocidas de periodicidade curta e/ou com diluições erradas; estes provocam desgaste na superfície pétrea, colocando-a numa posição susceptível à recolonização, neste caso, possivelmente mais severa [Delgado Rodrigues, Vale Anjos *et al.* 2011:71].

Por vezes, a colonização biológica, uma vez eliminada, deixa uma mancha escura que é extremamente difícil de remover, mas soluções que ponham em causa o substrato não devem ser consideradas. Esta coloração da pedra está associada à presença de melanina ou a compostos de melanina, fruto da actividade metabólica dos microorganismos. Com efeito, as cores escuras frequentemente encontradas em monumentos históricos em pedra, particularmente em pedras calcárias, como é o caso da pedra utilizada no Jardim Botânico da Ajuda (JBA) – caso de estudo da presente dissertação – têm duas origens principais: uma será provocada pelos produtos das reacções dos gases atmosféricos com partículas transportadas pelo ar, conhecidas como crostas negras (não observável no JBA), tipicamente em zonas pouco expostas; e a outra resulta da capacidade de organismos colonizadores de produzirem componentes escuros – melanina ou compostos de melanina –, e normalmente ocorrem em áreas expostas à luz solar e à abundância das águas pluviais. A melanina é uma biomolécula de difícil solubilidade e, conseqüentemente, de difícil remoção [Delgado Rodrigues e Valero 2003].



Imagem 1: Escadaria do JBA, com presença de biofilmes de cor escura, antes da recente intervenção de conservação e restauro. (Fonte: NC)



Imagem 2: Escadaria do JBA depois da intervenção, onde se pode ver a melanina deixada pelos organismos biológicos. (Fonte: NC)

O Lioz é a pedra mais comumente encontrada nos monumentos históricos da região de Lisboa e distingue-se por ser muito compacta, com uma porosidade baixa e uma elevada resistência. No entanto, quando exposta, é susceptível a agentes biológicos, com grande impacto visual, e que podem induzir uma erosão significativa [Delgado Rodrigues 2022].

2.1.2 Métodos de controlo de biofilmes em materiais pétreos

Alguma bibliografia sugere métodos para a eliminação das colonizações biológicas; no entanto, nenhum é completamente eficaz ou sustentável numa intervenção de grande escala, à excepção do tratamento químico com biocidas. Contudo, o tratamento com biocidas é temporário, e haverá sempre uma recolonização, mais ou menos intensa, sendo inevitável o reaparecimento de microorganismos.

Tratando-se de acções a conduzir sobre superfícies com valor patrimonial, é desejável que os métodos de controlo biológico – aliás como qualquer procedimento aplicado no âmbito de uma intervenção de conservação e restauro – sejam o mais inócuos possível para o substrato; sendo ainda importante, numa intervenção de grande escala, como é caso frequente quando se tratam (de) superfícies pétreas, considerar a consistência da relação de eficácia/aplicabilidade e custo/benefício. Ora, no âmbito de acções de controlo

biológico na conservação e restauro de materiais pétreos, os métodos existentes podem agrupar-se da seguinte forma:

- Acção mecânica: este tipo de métodos, que recorre ao uso de utensílios como espátulas, raspadores, bisturis, escovas, etc., apenas remove organismos que se desenvolvem na superfície da pedra, não garantindo por isso a sua total eliminação. Visualmente, pode resultar numa alteração, mas esta será de curta duração – o desenvolvimento dos organismos / recolonização será inevitável [Silva 2017] Silva, M. 2017.
- Laser: este método assenta no emprego de radiações electromagnéticas e eléctricas. O efeito biocida dá-se pelos processos de desnaturalização e de destruição das ligações químicas das moléculas. Os raios UV têm um efeito germicida; no entanto, são necessárias algumas condições ambientais específicas – implicando o controlo da temperatura e da humidade – e importa também considerar que esta radiação terá tanto mais sucesso quanto mais vulnerável estiver o organismo, o que depende da sua fase de crescimento. Ora, estas condições só são possíveis num laboratório, pelo que este método dificilmente será praticável na fachada de um monumento histórico [Caneva et al. 2000]. Os choques térmicos constituem um outro tipo de acção da radiação, que provoca a desvitalização dos agentes biodegradativos. A pedra é humedecida e é emitida fluorescência no mesmo comprimento de onda que o da clorofila. Os resultados são interessantes, mas o estudo conclui que a fluorescência não é capaz de matar todas as colónias de organismos e que não é eficaz a longo prazo, não sendo por isso possível descartar o uso de biocidas [Bertuzzi *et al.* 2017]. Por outro lado, foi feito um estudo sobre o uso de radiação IV, UV e a combinação das duas em amostras de pedras dolomíticas colonizadas: primeiro, foi aplicada radiação IV e, de seguida, radiação UV. Os resultados foram bastante satisfatórios, com o tratamento com a radiação sequencial IV-UV a garantir a remoção dos organismos de superfície e endolíticos, reduzindo a capacidade de estes recolonizarem a pedra. Pese embora os resultados terem sido muito encorajadores, dada a complexidade da logística necessária, a aplicabilidade em grande escala não é ainda comportável economicamente [Sanz *et al.* 2015].
- Biorremediação: esta família de métodos implica o uso de seres vivos – microorganismos e/ou suas enzimas – para o combate ao biofilme existente e prejudicial ao substrato. Pressupõe um conhecimento aprofundado dos

organismos existentes num determinado material para os combater com espécies parasitas e antagonistas [Caneva et al. 2000]. A identificação dos organismos é feita com base na morfologia e testes bioquímicos de coloração [Fernandes 2007]. Ainda que alguns métodos de biorremediação já sejam comumente usados em materiais pétreos – nomeadamente na consolidação de pedras calcárias através da potencialização de enzimas de organismos endolíticos, bem como no seu uso para a remoção de crostas negras através da acção química (transformando o gesso em carbonato) – o uso da biorremediação no combate a colonizações biológicas em suportes pétreos está ainda numa fase eminentemente experimental [Caldeira 2021].

- Privação de condições de desenvolvimento: A eliminação de factores essenciais ao desenvolvimento de organismos fotossintéticos, como a luz solar e a água, contribui obviamente para a extinção deste tipo de organismos e pode muitas vezes ser a melhor via para a sua eliminação; anotando-se porém que aqueles cuja proliferação depende de outros factores podem potencialmente permanecer vivos. Um exemplo prático desta solução está a ser usada na actual intervenção de conservação e restauro da Janela do Capítulo, na fachada ocidental da Igreja do Convento de Cristo. Como refere o Doutor Delgado Rodrigues, consultor do projecto de conservação e restauro da Janela,

“Sem água e sem luz, os microorganismos morrem. Depois é só passar uma escovinha suave para os remover. Se usássemos biocidas, que são inócuos, seria muito mais rápido, mas tornaria impossível qualquer consolidação desta pedra, que é muito frágil e, já de si, difícil de consolidar”. [Canelas 2022].

Uma vez consolidada a pedra, e já numa óptica de manutenção, podem ser aplicadas soluções químicas como tratamento preventivo – deixados a actuar sem que sejam necessárias escovagens severas, salvaguardando assim a integridade dos materiais pétreos que, no caso, são bastante frágeis.

Assim, esta solução, aliada ao uso de biocidas, pode ser um contributo para a eliminação de agentes biológicos. No entanto, esta opção funciona para áreas relativamente pequenas – de um ponto de vista logístico, não parece ser o mais indicado para intervenções de grande escala, como uma fachada ou todas as fachadas de um edifício histórico.

- Acção química: enquadram-se neste grupo as soluções mais frequentemente aplicadas no controlo biológico em materiais pétreos patrimoniais, os biocidas.

Sobre esta família de métodos será feita uma descrição mais extensa abaixo, devendo no entanto sublinhar-se desde já que a escolha dos produtos biocidas para o controlo do crescimento de microorganismos deve ter por base: (i) a eficácia sobre os agentes biodegradativos; (ii) a não interferência com os materiais líticos; (iii) a baixa toxicidade para a saúde humana; e (iv) uma reduzida contaminação ambiental [Villegas Sánchez 2003].

2.2. Soluções biocidas

Apesar dos vários estudos feitos na procura de soluções mais sustentáveis e idóneas para o tratamento de colonização biológica em monumentos pétreos, o recurso a tratamentos com biocidas continua a ser uma solução económica, eficaz e logisticamente pouco impactante. São inúmeras as intervenções, em várias áreas da conservação e restauro, que os utilizam para o combate a colonizações biológicas com bons resultados [Ascaso *et al.* 2001; Gómez de Saravia *et al.* 2008; Rotolo *et al.* Favero-Longo *et al.* 2011]. Não obstante a facilidade no emprego destes produtos, o seu uso incorrecto pode provocar danos irreversíveis nos materiais.

A eficácia de um tratamento com um biocida engloba um conjunto de factores. Entre outros, a diluição e o tempo de actuação são os factores imediatos a ter em conta na escolha de um biocida para a limpeza de colonizações biológicas.

As soluções de sais de amónio quarternário são as tradicionalmente recomendadas para eliminar colonizações biológicas de suportes pétreos. [Lazzarini e Tabasso 1986; Caneva *et al.* 1996; Vale Anjos 2006] e, ainda que continue a ser recorrente o seu uso, estes biocidas nem sempre são usados correctamente, não sendo as medidas para as diluições devidamente respeitadas [Delgado Rodrigues *et al.* 2012]. Por outro lado, crescentes imposições legais decorrentes da sua elevada toxicidade vão reduzindo a eficácia biocida deste tipo de compostos, que se estima não ser muito superior a um ano [Delgado Rodrigues *et al.* 2012; Sanmartín *et al.* 2020; Urquhart *et al.* 1996], pese embora esta eficácia esteja largamente dependente da bioreceptividade dos substratos tratados.

A aplicação de soluções alternativas tem-se ampliado e os resultados obtidos com o uso de biocidas considerados mais eco-compatíveis são positivos, proporcionando caminhos mais sustentáveis no combate à colonização biológica no património, bem como para a conservação e restauro em geral.

2.2.1 Óleos essenciais

São já inúmeros os artigos escritos com experiências feitas com o recurso a biocidas alternativos, nomeadamente biocidas formulados à base de óleos essenciais. Estas soluções parecem ter vantagem sobre os biocidas convencionais à base de sais de amónio quaternário, nomeadamente no que diz respeito ao impacto ambiental e à toxicidade aquando da sua aplicação [Favero-Longo *et al.* 2022; Fidanza Caneva 2019].

Segundo o artigo de Fidanza e Caneva [2019], que faz uma revisão da literatura entre 1986 e 2018 sobre o uso de óleos essenciais usados como alternativa aos biocidas convencionais, a investigação deste tipo de soluções para o controlo de colonização biológica em materiais pétreos tem vindo a ganhar uma importância crescente. No entanto, afirmar que uma solução biocida com base num óleo essencial tem uma baixa toxicidade não é uma verdade absoluta: apesar de ser considerada uma solução ‘natural’, esta pode ser prejudicial à saúde. Como proferiu Paracelso no séc. XVI “Todas as substâncias são venenos: é a dose que faz o veneno” [Fidanza e Caneva 2019:8]. Este é, de facto, um conceito fundamental da toxicologia: a relação dose/resposta.

Hoje, são já conhecidos diversos casos de sucesso na aplicação de biocidas mais ecológicos, contrariando os comumente usados biocidas convencionais. Esta procura prende-se com a necessidade de que a conservação e restauro, tal como outras disciplinas, contribua para um mundo mais sustentável:

“Os conservadores estão cada vez mais conscientes do efeito das suas acções a curto prazo (tratamentos e produtos utilizados) que podem acentuar a futura deterioração do património. Além disso, tem havido uma elevada preocupação com a necessidade de aumentar a resistência dos bens culturais através do uso de soluções ecologicamente mais correctas e com maior durabilidade.” [Gueidão *et al.* 2020:1].

De uma forma geral, têm-se procurado soluções que possam substituir produtos considerados tóxicos para quem os opera e para o ambiente [Gueidão *et al.* 2020]. Contudo, pretende-se que estas soluções mais eco-compatíveis tenham os mesmos níveis de eficácia e de compatibilidade. É neste contexto que surgem os óleos essenciais. Estes são normalmente provenientes de folhas, galhos, polpa de madeira ou tecidos de cascas de plantas superiores, etc. e correspondem a misturas de compostos lipofílicos voláteis. A forma mais comum de produzir óleos essenciais é por hidrodestilação, que implica o aquecimento dos materiais em água a temperaturas superiores ao ponto de ebulição, sendo que os gases mistos (vapor de água e vapor do óleo) expandem e são encaminhados para

um condensador; depois, há um arrefecimento abaixo dos 30°C e, já líquidos, são separados – fase hidrossol e óleo essencial [Sadgrove e Jones 2015].

O processo de obtenção do óleo essencial é complexo e tem sido alvo de discussão entre cientistas. A sua definição tem sido polémica e, por isso, a Organização Internacional de Normalização (ISO) definiu um óleo essencial como: “produto obtido a partir de matéria-prima natural não transformada, por destilação com água e vapor, a partir do epicarpo de frutas cítricas por processamento mecânico, ou por destilação seca” [Sadgrove e Jones 2015: 50].

O uso do termo óleo essencial está estreitamente ligado ao componente aromático – mais ou menos agradável –, dado que estes óleos são misturas de compostos aromáticos e alifáticos que produzem a sensação de aroma. Já a descrição química destes compostos assenta na capacidade de movimentação dos electrões que permite a sua estabilidade molecular [Sharmeen *et al.* 2021]. O uso de óleos essenciais tem sido explorado em vários mercados, como o da alimentação e bebida (35%), fragrância, cosméticos e aromoterapia (29%), doméstico (16%) e farmacêutico (15%) [Sharmeen *et al.* 2021: 24].

Na conservação e restauro, particularmente nos materiais pétreos, os biocidas naturais têm vindo a ser estudados desde 1986 [Fidanza e Caneva 2019]. Desde esta data, tem-se escrito muito sobre a aplicação de óleos essenciais enquanto biocidas no combate aos biofilmes presentes na grande maioria dos monumentos históricos. As investigações feitas sobre o emprego destes produtos naturais começaram por compará-los com biocidas convencionais, submetendo-os às mesmas condições, e os resultados são, no seu conjunto, satisfatórios – os óleos essenciais têm demonstrado o mesmo desempenho que biocidas à base de sais de amónio quaternário. Porém, a bibliografia já aponta para uma tendência de comparação apenas entre os diferentes tipos de óleo ou extractos naturais, deixando de fora os biocidas convencionais [Fierascu *et al.* 2013], denotando um crescente interesse e utilização em alternativas mais eco-compatíveis na conservação e restauro.

2.2.2 Etanol

Os óleos essenciais dominam os estudos no combate à colonização biológica; no entanto, e ainda que com poucas referências, o etanol tem vindo a ser testado enquanto biocida igualmente sustentável e eco-compatível. A documentação sobre a aplicação de etanol em materiais pétreos atacados por microorganismos ainda é muito parca; contudo, a que existe acentua a preocupação com o encontrar de soluções mais amigas do ambiente.

O álcool etílico a 70% está classificado como desinfectante, e é vulgarmente usado na área da saúde. Em conservação e restauro, sobretudo de materiais orgânicos, é mais comum o uso de etanol a 96%, que é regularmente usado como solvente pela sua volatilidade e características de solubilização de variados compostos.

No entanto, quando utilizado a 70%, o etanol possui propriedades antimicrobianas conhecidas, que têm sido postas a uso em diversos tipos de bens culturais (é frequentemente usado, por exemplo, para a eliminação de fungos em documentos gráficos), inclusive artefactos de pedra, onde a sua eficácia e compatibilidade já foram demonstradas, superando, em alguns casos reportados, os de produtos sintéticos tradicionais [Scheerer 2008; Sanmartín *et al.* 2020].

A diferença entre as percentagens indicadas corresponde à concentração do etanol, sendo o restante volume tipicamente completado com água. Quanto menos água a solução tiver, mais puro é o álcool, e conseqüentemente mais volátil. O álcool a 70% tem a diluição mais indicada para o efeito bactericida: este rácio água/álcool permite uma maior eficácia na penetração das células da bactéria e retarda a evaporação do álcool, permitindo um maior tempo de contacto e de actuação, fazendo com que a desnaturação das proteínas do microrganismo – provável mecanismo da acção antimicrobiana do álcool – seja mais eficiente [CDC 2008].

As diluições do etanol encontradas na bibliografia variam entre os 50% e os 96%. No caso de estudo apresentado em Sanmartín *et al.* [2020], os edifícios históricos analisados (em Santiago de Compostela) são em pedra granítica e foi feita uma comparação entre alguns biocidas convencionais e o etanol a 50%, com monitorização da recolonização durante, aproximadamente, um ano. Ainda que o etanol tenha tido um desempenho mediano quando comparado com os restantes biocidas, apresentou melhores resultados do que produtos como o Biotin[®] T, Biotin[®] R e o New Des[®] 50, sendo que os mais eficazes foram o Preventol[®] RI80 e o cloreto benzalcónico.

Na sua tese de doutoramento “*Microbial biodeterioration of outdoor stone monuments. Assessment methods and control strategies*”, Scheerer [2008] faz a comparação de biocidas convencionais e etanol a 70%, afirmando nas suas conclusões que o etanol foi o que teve os melhores resultados, embora a sua acção tenha sido neste caso potenciada com ultra-sons (em baixa potência), aumentando a capacidade microbiana do álcool.

Num ensaio realizado na Finlândia, num porto sob protecção ambiental localizado a sul de Tulludden, em Hankö, as superfícies colonizadas, em granito, encontram-se muito perto do mar, pelo que o único biocida usado foi o etanol a 70%, que foi comparado com

uma escovagem húmida com água e com uma limpeza com água a alta pressão. No caso, o etanol foi aplicado duas vezes, uma imediatamente a seguir à outra, e a superfície não foi escovada [Ernfridsson 2021]. O resultado foi bastante positivo: a escovagem e a limpeza de alta pressão, como seria de esperar, tiveram resultados imediatos; no entanto, houve uma rápida recolonização. Seis anos após o tratamento, o etanol a 70% mostrou ter sido muito eficaz, sem que, macroscopicamente, seja detectável recolonização. As sugestões de protocolo propõem duas aplicações seguidas, por aspersão, de etanol a 70% (sensivelmente meio litro por 1m²), sem que se faça uma escovagem, e sugerem que, de quatro em quatro anos, se repita o procedimento [Ernfridsson 2021].

Um outro estudo realizado pela mesma autora, desta vez nas fachadas de reboco com cal, cimento Portland e camadas de tinta de silicatos ou à base de cal, numa igreja na Suécia, versou sobre a aplicação de etanol no combate a um tipo específico de algas, vermelhas. Foram comparadas diferentes diluições de etanol – 50%, 70% e 96% –, e água de cal, tendo os resultados sido igualmente positivos no que diz respeito ao desempenho do etanol [Ernfridsson *et al.* 2018].

Em Portugal, o uso de etanol para tratamento biocida em materiais pétreos não é conhecido, à excepção da recente limpeza de manutenção do Claustro do Mosteiro dos Jerónimos [Martins 2021]. Este combate à colonização biológica foi executado em duas fases: na primeira, foi usado o etanol a 70%, por aspersão, e, numa segunda fase, usou-se uma formulação à base de óleos essenciais. Visto que o claustro foi intervencionado há duas décadas e que, até aos dias de hoje, não tinha havido qualquer tipo de manutenção ao nível da eliminação de colonização biológica – e não obstante a presença de colonização biológica estivesse bastante distante da que se verificava antes da intervenção realizada entre 2000 e 2022 [AA.VV. 2006] –, esta conjugação de dois biocidas foi essencial para garantir o sucesso do tratamento.

Como se disse, se os óleos essenciais estão já bastante estudados e a sua eficácia comprovada, o uso de etanol ainda é muito embrionário – ainda que os estudos referidos acima mostrem que o etanol pode ser uma solução eco-compatível, estes foram realizados em ambientes e materiais líticos completamente diferentes. A aplicação de ambos os produtos, no mesmo claustro, foi feita por aspersão e apenas pontualmente foi necessária uma pequena escovagem, em áreas sub-horizontais já mais densamente colonizadas; de uma forma geral, a remoção dos organismos mortos deu-se naturalmente, através da acção das águas pluviais e do vento. O resultado desta intervenção foi bastante satisfatório, configurando uma acção de manutenção que previne o atingir dos níveis de

biocolonização que, em parte, motivaram a intervenção do início dos anos 2000. Esta manutenção foi feita com base nos estudos que estavam a ser desenvolvidos no Jardim Botânico da Ajuda com o pressuposto de encontrar alternativas menos tóxicas aos biocidas convencionais e que estiveram na origem do presente estudo.

Do ponto de vista da eco-toxicidade, estas alternativas – etanol e óleos essenciais – são um grande avanço e demonstram o compromisso da conservação e restauro para com os princípios de sustentabilidade ambiental. No entanto, coloca-se uma questão: será que o processo de produção destes produtos é, também ele, sustentável?

Afirmar que um produto é sustentável não é completamente correcto: pode, de facto, ser mais sustentável quando comparado com um produto com uma toxicidade prejudicial para o operador e para o ambiente (do ponto de vista da aplicação e do impacto directo no ambiente) mas, do ponto de vista da sua produção, as respostas podem não ser assim tão simples.

O etanol deriva de um processo de destilação de matérias-primas – como a cana-de-açúcar ou o milho – e o óleo essencial de processos de hidrodestilação de galhos, folhas, etc. Em ambos os casos, naturalmente, e pelas inúmeras aplicabilidades que têm, são necessárias grandes quantidades destes recursos para produzir cada um dos produtos. Se essas produções implicarem cultivos intensivos, então a sua sustentabilidade deverá ser questionada, considerando que este tipo de produção comporta impactos negativos nos solos por diversos motivos, como, por exemplo, o desmatamento de terrenos, a saturação dos solos ou a aplicação de produtos químicos como pesticidas para (combate a pragas que vão circular e contaminar os lençóis freáticos).

Não é, pois, possível afirmar que estes biocidas são totalmente sustentáveis. No entanto, ambos apresentam níveis de toxicidade mais reduzidos do que os biocidas tradicionais, contribuindo deste modo para um avanço, necessário, para soluções mais verdes. Também nesse sentido, parece estar aberto o caminho à realização de estudos que permitam aferir a efectiva pegada ecológica – ou sustentabilidade – destes e de outros produtos utilizados em conservação e restauro.

Desta forma, a conservação e restauro pode continuar a progredir no sentido da implementação dos Objectivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) definidos na Agenda 2030 para combate aos enormes desafios económicos, sociais e ambientais da nossa época (ONU 2015). O combate às alterações climáticas não será feito, seguramente, pela substituição de biocidas na conservação e restauro, mas é um pequeno passo que, juntamente com tantas outras investigações com o mesmo propósito, contribuirá para um

sector mais responsável e comprometido com os princípios e valores do desenvolvimento sustentável.

2.3 Caso de estudo – Jardim Botânico da Ajuda

O Jardim Botânico da Ajuda (JBA) foi eleito como caso de estudo por diversas razões. Desde logo, o facto de se tratar de um objecto patrimonial que havia já sido alvo de diversas intervenções por parte da Nova Conservação, S. A. (NC) – empresa que acolheu a mestrandia para a realização desta dissertação – no âmbito das quais a tutela do Jardim tinha já expressado preocupação com a articulação entre as necessidades conservativas dos elementos decorativos e dos elementos vegetais.

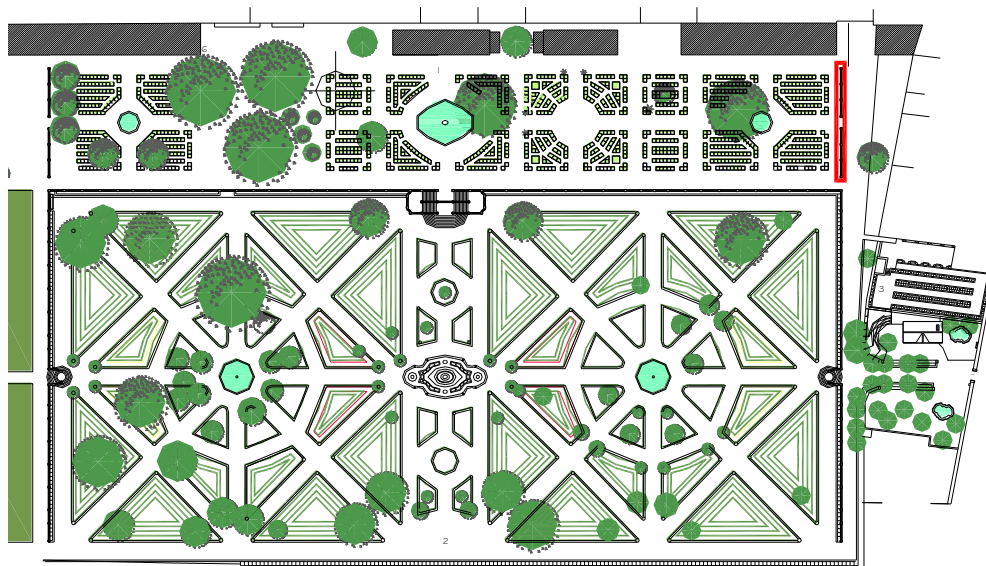


Imagem 3: Planta do JBA. (Fonte: ISA/JBA)

É por isso relevante referir que os trabalhos desenvolvidos no JBA têm procurado acompanhar a evolução dos tempos e da necessidade, cada vez mais premente, de manter em vista as preocupações com o planeta e com os seus recursos. A NC, em conjunto com a direcção do JBA e com a Associação dos Amigos do Jardim Botânico da Ajuda (AAJBA), tem trabalhado por forma a assegurar não só os interesses e preocupações de todas as partes, mas também, e sobretudo, o recurso a boas práticas de intervenção de conservação e restauro.

Tendo em conta que este estudo pretende contribuir para a definição de protocolos de intervenção mais eco-compatíveis, o facto de o seu objecto ser um jardim histórico – que obriga a que a acção leve em consideração a preservação da flora e da fauna – parece não

só adequado como um espaço de experimentação pertinente. De facto, tudo indica que um protocolo eco-compatível que tenha sucesso neste contexto será extrapolável para outros cujas exigências ambientais sejam menos prementes.

2.3.1 O Jardim Histórico como bem cultural

“O jardim histórico é uma composição arquitectónica cujos constituintes são principalmente vegetais e, portanto, vivos, o que significa que são perecíveis e renováveis”. Assim, a sua aparência reflecte o equilíbrio perpétuo entre o ciclo das estações, o crescimento e o decaimento da natureza e o desejo do artista e artesão de mantê-la permanentemente inalterada.

Art. 2º da Carta de Florença para a Salvaguarda de Jardins Históricos [ICOMOS-IFLA 1981]

Foi considerado pela Comissão Internacional dos Jardins Históricos do ICOMOS-IFLA que um jardim histórico é um *monumento vivo* e que, por isso, a sua salvaguarda obriga a uma conciliação das várias partes que compõem um jardim, seja ele de pequenas ou grandes dimensões: “A composição arquitectónica do jardim histórico inclui: o seu traço e topografia; a sua vegetação – espécies, volumes, esquemas de cores, distâncias e respectivas cotas; os seus elementos estruturais e decorativos; e a água em movimento ou parada, a reflectir o céu.” [ICOMOS-IFLA 1981: art.4º]

Segundo os artigos 11º, 12º e 13º desta Carta, relativos à manutenção e conservação, a importância dada às partes que compõem um jardim são iguais, ou seja, os cuidados que estes monumentos exigem são relativos quer à colecção vegetal, quer à arquitectura: uma parte não existe sem a outra e a sua simbiose permite um ambiente equilibrado e ecológico.



Imagem 4: Pormenor da harmonia entre o património natural e o arquitectónico no JBA. Fonte: NC

2.3.2 Contextualização e caracterização do JBA

Sendo o JBA classificado como Imóvel de Interesse Público (IIP), não só pela sua importância histórica – foi o primeiro jardim botânico em Portugal –, mas também por estar localizado na zona circundante do Palácio Nacional da Ajuda, as suas obras de conservação e restauro são uma das principais preocupações na gestão deste património, que desde há largos anos recai sob a alçada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa. Como bem classificado, todos os projectos de intervenção para o JBA, elaborados pela Direcção do jardim em articulação com a AAJBA, têm sido submetidos a aprovação prévia pela Direcção-Geral do Património Cultural, entidade a que todos os bens com classificação legal de património têm de reportar. Este procedimento contribui para garantir que o projecto a ser implementado não coloca em risco o património, estando dentro do espírito do Artigo 15.º da Carta de Florença: “Antes do início de qualquer trabalho prático, deve ser preparado um projecto com base em investigação [prévia], a submeter a um grupo de peritos para análise e aprovação colegial” [ICOMOS-IFLA 1981].

Considera-se que os projectos de arquitectura paisagista das últimas sete décadas têm sido fulcrais para a salvaguarda do JBA, que conta já com mais de 250 anos de história.

Localizado na encosta da Ajuda, junto ao Palácio da Ajuda e museu do Tesouro Real, do Jardim Botânico Tropical, do Mosteiro de Santa Maria de

Belém (Jerónimos), do Centro Cultural de Belém, o Jardim Botânico da Ajuda (JBA) oferece uma vista alargada do estuário do Tejo e da margem sul e que é enquadrada pelo casario pitoresco da zona histórica da Ajuda e Belém. Murado de forma rectangular, com uma área de 3,8 hectares, esta estruturado em dois terraços desnivelados. O acesso a este jardim pode ser feito através de duas entradas, uma a nascente, pela Calçada da Ajuda, e outra a poente, pela Calçada do Galvão. Desde 1910 que se encontra sob a tutela do Instituto Superior de Agronomia, da Universidade de Lisboa. [Cunha et al. 2021:56]

O Jardim Botânico da Ajuda é o jardim histórico mais antigo do país. Fundado em 1768, no reinado de D. José I, tem mais de 250 anos. O projecto do jardim foi criado pelo naturalista italiano Domenico Vandelli, que veio de Pádua a pedido do rei.

O jardim foi criado “com o fim de manter, estudar e coleccionar o máximo número de espécies do mundo vegetal [...], tendo sido] enriquecido de balaustradas, escadarias, estátuas e fontes ornamentais.” [Cunha et al. 2021:56] A diversidade de espécies do jardim chegou a contar com 5000 exemplares, ascendendo o espólio actual a cerca de 1500 espécies.

No JBA, a balaustrada em calcário de Lioz separa os dois terraços desnivelados, fazendo o acompanhamento do declive do terreno, ladeando a plataforma com a cota mais baixa. No centro, onde se faz a passagem da parte superior para a inferior do jardim, existe uma escadaria definida por estes mesmos balaústres, bem como as escadas laterais e simétricas do terraço de baixo.



Imagem 5: Balaustrada que separa os dois terraços desnivelados. Fonte: NC

Com algumas alterações ao projecto inicial, o actual JBA dispõe de três lagos ornamentais no terraço superior e de dois lagos e uma fonte no terraço inferior, sendo que esta fonte central da cota mais baixa – Fonte das 40 Bicas – é substancialmente maior e de trabalho escultórico mais elaborado.



Imagem 6: Fonte das 40 bicas do JBA. Fonte: NC

As alterações introduzidas ao projecto inicial deram ao Jardim Botânico uma maior carga barroca, sobretudo visível no grande tanque central da plataforma inferior, de perfil movimentado e recheado de ornatos barrocos e de esculturas de animais, interligadas por um sugestivo jogo de água, no recorte arredondado das escadas laterais e do patamar superior da escadaria principal, culminando no cenográfico enquadramento da estátua do príncipe do Brasil, D. José, coroado de louros e trajando à romana, segundo a verosímil identificação de Ayres de Carvalho. [Mendonça 2021:8]

Anote-se ainda que

A obra lavrada do Jardim foi realizada por contratação particular, através de empreitadas específicas. O contratador João Gomes (que igualmente exerceu as funções de aparelhador de cantaria) foi o responsável pela obra de cantaria do jardim, mandando fazer por empreitada e ajuste directo, aos oficiais que tinha sob as suas ordens (a maioria trabalhava também na obra do Jardim desde pelo menos 1777), os balaústres da antepara e das

escadarias. Nos recibos distinguem-se os balaústres direitos, pagos a 2\$400 réis a unidade, dos balaústres de rampa, pagos a 2\$700, e dos de “trainel”, a 3\$000. Foram pagos 1150 balaústres, entre Setembro de 1786 e Dezembro de 1788. Entre muitos outros canteiros refiram-se os nomes de Joaquim Barbosa, José Lourenço, Jerónimo Ferreira, Joaquim Francisco, Manuel da Costa, Manuel Freire, António dos Santos, Francisco Xavier, António Lino, José de Oliveira, José dos Santos Mafra, Joaquim de Oliveira Benfica e Dionísio da Silva Beja.

João Gomes também se encarregou de mandar fazer todas as outras pedras lavradas, assinando os recibos pelos pagamentos. [Mendonça 2008:15]

Em 1999 foi fundada a Associação dos Amigos do Jardim Botânico da Ajuda para apoiar a conservação do jardim:

A Associação Amigos do Jardim Botânico da Ajuda, também designada por AAJBA, é uma pessoa colectiva de direito privado, sem fins lucrativos. [...] A AAJBA tem por objecto colaborar com o JBA, apoiando-o no desempenho e divulgação das suas actividades científicas, culturais, educativas, recreativas e turísticas, tendo capacidade para estabelecer contratos programa para o desenvolvimento de actividades de natureza empresarial mediante a negociação de contrapartidas com a direcção do JBA [...] e encorajar e apoiar acções de protecção e conservação do património (natural e edificado), da natureza e do ambiente [Estatutos da AAJBA: 2]

A AAJBA tem vindo, desde 2010, a financiar obras de conservação e restauro, sem recorrer a mecenatos ou subsídios. A salvaguarda do jardim obriga a análises histórico-artísticas e a uma síntese-diagnóstico que culmina com a fase de projecto, garantindo que os trabalhos são planeados cuidadosamente no uso das técnicas e materiais, certificando assim a autenticidade do jardim, neste caso de cariz histórico. [Azambuja 2017].

O JBA está, como se disse, classificado como Imóvel de Interesse Público, o que, segundo a lei nº107/2001, de 8 de Setembro, implica:

Um bem considera-se de interesse público quando a respectiva protecção e valorização represente ainda um valor cultural de importância nacional, mas para o qual o regime de protecção inerente à classificação como de interesse nacional se mostre desproporcionado. [Lei 107/2001: art.15º]

Considerando esta classificação, o JBA tem, então, valor e interesse culturais para toda a população portuguesa. Não obstante, e tendo em conta que o Jardim é também visitado por público estrangeiro, depreende-se que este bem é valorizado além-fronteiras, pelas suas características históricas, naturais e estéticas. Deve ainda considerar-se o valor científico – em particular nas áreas da botânica, por um lado, e da arquitectura paisagista, por outro – do JBA, atractivo para curiosos e profissionais não só desses campos, mas também da agronomia, da história e da conservação e restauro.

Importa ainda considerar a representação das partes mais estreita e directamente ligadas ao JBA, nomeadamente na pessoa da Doutora Ana Luísa Soares, não só enquanto directora do Jardim, mas também enquanto membro activo da comunidade científica do ISA, que o utiliza como espaço educativo. De facto, e tal como foi explicado informalmente pela directora no início deste estudo, o propósito das intervenções de conservação e restauro não deveria ser o de devolver à pedra a sua cor branca original, mas sim o de salvaguardar os vestígios – desde que não nocivos – de uma real convivência entre o património natural e o património arquitectónico do jardim, permitindo uma leitura harmoniosa das duas partes.

3. Materiais e métodos

O principal objectivo dos ensaios realizados foi o de comparar a eficácia de três produtos com propriedades desinfestantes: o Preventol® RI80, o Biotersus® e o álcool etílico (a 70%). Para tal, seleccionaram-se suportes pétreos com características de exposição ambiental e padrões de colonização biológica similares, posto o que foram elaborados os protocolos de aplicação a ensaiar e as metodologias de avaliação dos resultados, que se descrevem nas subsecções abaixo.

3.1 Elementos ensaiados

O material lítico que compõe as estruturas arquitectónicas (balaustrada, fontes e escadarias) do JBA é o calcário de Lioz, de uso comum nos edifícios históricos de Lisboa, devendo salientar-se que para o Jardim foram seleccionados blocos de elevada qualidade, como se pode ajuizar pela geral homogeneidade das pedras, com estilólitos e rudistas de presença visualmente pouco expressiva. O Lioz é um calcário microcristalino de cor branca a bege muito clara, extremamente compacto – com porosidade inferior a 1% –, e quase inteiramente composto por calcite [Delgado Rodrigues 2022].

Em termos de bioreceptividade – a capacidade que um material tem para ser colonizado por um ou vários conjuntos de seres vivos [Guillitte 1995] –, as comportamento hídrico do Lioz: baixas porosidade aberta, permeabilidade ao vapor e absorção de água por capilaridade; bem como a sua rugosidade relativamente reduzida fazem do Lioz uma pedra pouco bioreceptiva quando comparada a outros calcários frequentemente encontrados no património construído português [Miller 2010].

A aplicação dos diferentes biocidas foi feita nos balaústres do lado poente do Jardim (no terraço de baixo), na face virada a poente, num total de 57 balaústres. Procurou-se que o total da área a estudar tivesse a mesma exposição solar, bem como o mesmo tipo de colonização biológica, permitindo, tanto quanto possível, reduzir as variáveis em análise.



Imagem 7: Vista geral da balaústrada do lado poente, usada para os testes. Fonte: Joana Muge/NC

3.2 Biocidas testados

O **Preventol® RI80** é um biocida líquido concentrado, à base de sais de amónio quaternário, de amplo espectro, usado na a preparação de soluções desinfectantes, para a eliminação de bactérias, bolores, algas e líquenes em diferentes suportes.

O fabricante é a Lanxess® Energizing Chemistry é comercializado por várias empresas entre elas a C.T.S. S.r.l..

O **Biotersus®** é um produto à base de óleos essenciais de canela, cravinho e tomilho siciliano, desenvolvido a partir de pesquisas voltadas para aplicações no património cultural do Laboratório Científico dos Museus do Vaticano [Devreux *et al.* 2015]. A eficácia desses óleos específicos no controle do crescimento biológico, bem como a sua não nocividade em materiais líticos, foi demonstrada em experiências subsequentes [Tabasso e Morelli 2019; Bartolini e Pietrini 2016].

A empresa italiana Exentiae S.r.l. é a fabricante e distribuidora da solução.

Os **álcoois** são uma classe de compostos orgânicos constituídos por um ou mais grupos de hidroxilos (-OH) ligados a carbonos saturados; o etanol é um álcool com apenas um grupo hidroxilo.

O álcool etílico não desnaturado a 70% utilizado no presente ensaio é preparado e fornecido pela AGA-Álcool e Géneros Alimentares, S.A.

Segue-se uma tabela de resumo das principais características de cada um dos biocidas mencionados.

	Preventol® RI80 [Lanxess 2011]	Biotersus® [Exentiae 2019]	Álcool 70% [AGA 2016]
Estado físico a 25°C e pressão ambiente	Líquido	Líquido	Líquido
Cor	Incolor ou amarelo palha	Incolor, tendencialmente opaco	Transparente e incolor
Odor	Amendoado	Característico, picante	Característico e etéreo.
Toxicidade operador (DL50 oral)	398 mg/kg	1602.69 mg/kg	10470 mg/kg
Toxicidade ambiente	Altamente tóxico para os organismos aquáticos.	O produto deve ser considerado perigoso para o ambiente e é nocivo para os organismos aquáticos com efeitos negativos a longo prazo.	Não são conhecidos nem esperados danos ecológicos como consequência de uma utilização normal.
Diluições recomendadas (em água)	2% a 10%	10%	Diluição de fábrica

Tabela 2 Principais características dos três biocidas usados.

3.3 Protocolos de ensaio

Tendo em conta os objectivos da avaliação, foram realizadas duas séries de ensaios, nas quais se testaram diferentes protocolos de aplicação dos diferentes biocidas, sendo que a segunda série decorreu das conclusões retiradas dos primeiros ensaios. Uma vez que o estudo teve início em 2019, e dada a disponibilidade da entidade tutelar do JBA, foi possível adaptar o esquema de testes à medida que o trabalho progrediu, por forma a responder às perguntas que se foram colocando.

3.3.1 Primeira série de ensaios

Nesta primeira série, foram testados todos os biocidas, variando-se os seguintes parâmetros de aplicação: realização de pré-lavagem, tempos de actuação dos produtos e protecção solar durante esta actuação. Todos os balaústres foram escovados com água após os tempos de actuação definidos. Neste protocolo não foram contempladas segundas

aplicações, ainda que na grande maioria das intervenções em materiais pétreos as aplicações sejam muitas vezes repetidas, como já foi referido.

As variantes testadas, como cobrir ou não o objecto depois da aplicação, e pré-lavar ou não o objecto antes da aplicação, tiveram em conta as recomendações dos fabricantes e também os procedimentos comumente empregues no âmbito de intervenções de conservação e restauro. Nomeadamente, no caso do Biotersus é recomendada a protecção da radiação solar, que naturalmente restringe a progressão de colonização por organismos fotossintéticos; por seu lado, a pré-lavagem com água, em muitos casos, possibilita a eliminação de camadas mais soltas de microorganismos e depósitos menos aderentes, melhorando a penetração – e, conseqüentemente, a eficácia – do produto biocida. Acrescentou-se também o diferencial temporal, isto é, cada conjunto de aplicações foi realizado com tempos de actuação diferentes – duas e quatro semanas -, de modo a despistar se um período mais longo pouparia uma segunda aplicação (comum em contexto de obra). Ver tabela 3.

Balaústre		Aplicação por pincelagem	
		1	Controlo
	Com Pré-lavagem	2	Preventol® RI80 a 3%
		3	Biotersus® a 2 %
	Coberto (com manga plástica)	4	Biotersus® a 3%
		5	Biotersus® a 5%
2 semanas		6	Álcool 70%
		7	Controlo
	Com Pré-lavagem	8	Preventol® RI80 a 3%
		9	Biotersus® a 2 %
	Não coberto	10	Biotersus® a 3%
		11	Biotersus® a 5%
		12	Álcool 70%
		13	Controlo
	Com Pré-lavagem	14	Preventol® RI80 a 3%
4 semanas		15	Biotersus® a 2 %
	Coberto (com manga plástica)	16	Biotersus® a 3%
		17	Biotersus® a 5%
		18	Álcool 70%
	Com Pré-lavagem	19	Controlo

		20	Preventol® RI80 a 3%
	Não coberto	21	Biotersus® a 2 %
		22	Biotersus® a 3%
		23	Biotersus® a 5%
		24	Álcool 70%
		25	Controlo
	Sem Pré-lavagem	26	Preventol® RI80 a 3%
		27	Biotersus® a 2 %
	Coberto (com manga plástica)	28	Biotersus® a 3%
		29	Biotersus® a 5%
2 semanas		30	Álcool 70%
		31	Controlo
	Sem Pré-lavagem	32	Preventol® RI80 a 3%
		33	Biotersus® a 2 %
	Não coberto	34	Biotersus® a 3%
		35	Biotersus® a 5%
		36	Álcool 70%
		37	Controlo
	Sem Pré-lavagem	38	Preventol® RI80 a 3%
		39	Biotersus® a 2 %
	Coberto (com manga plástica)	40	Biotersus® a 3%
		41	Biotersus® a 5%
4 semanas		42	Álcool 70%
		43	Controlo
	Sem Pré-lavagem	44	Preventol® RI80 a 3%
		45	Biotersus® a 2 %
	Não coberto	46	Biotersus® a 3%
		47	Biotersus® a 5%
		48	Álcool 70%

Tabela 3 Primeira série de testes.

O protocolo inicial, utilizado para todos os produtos ensaiados, teve como base os pontos comumente usados para um biocida convencional: uma diluição de referência (atribuída pelo fabricante), uma aplicação e um tempo de actuação de sensivelmente duas semanas. Definiu-se, então, a aplicação (por pincelagem) do Preventol® RI80 a 3%, do Biotersus® a 2%, 3% e 5% e do álcool a 70%.

Relativamente ao Biotersus[®], há que referir que as diluições tiveram como referência as recomendações para o Preventol[®]. No entanto, e como se pôde constatar mais tarde, tratou-se de um erro. De facto, a primeira dose de biocida a ser aplicada era de uma amostra do fabricante, não tendo sido facultada a respectiva ficha técnica atempadamente. Assumiram-se, assim, estas diluições, quando na verdade deveria ter sido feita uma diluição a 10%. Este lapso foi posteriormente corrigido no segundo conjunto de testes.

3.3.2 Segunda série de ensaios

Após apreciação dos resultados dos primeiros ensaios foi possível retirar algumas conclusões, mas algumas perguntas continuaram sem resposta. Procedeu-se, assim, à elaboração de um novo protocolo, desta feita testando-se apenas o álcool etílico e os óleos essenciais, que tinham demonstrado uma eficácia igual ou superior à solução de sais de amónio quaternário (Preventol[®] RI80).

No primeiro conjunto de ensaios foi igualmente possível constatar que a pré-lavagem/escovagem e cobertura dos balaústres após a aplicação (de qualquer um) dos produtos não produzia efeitos de relevo em termos de eficácia biocida, e por isso na segunda fase dos ensaios estas duas variantes não foram testadas.

Nesta segunda série de ensaios, as variantes introduzidas focaram-se sobretudo nos tempos de aplicação, tendo-se ainda tentado avaliar a efectiva necessidade da realização de escovagens após actuação do biocida. Foram seleccionados 9 balaústres e foram-lhes atribuídas letras para diferenciá-los dos primeiros. Neste caso, foram usados apenas o Biotersus[®] e o álcool a 70%.

Procurou-se, uma vez mais, aproximar o ensaio a um contexto de obra, e ainda responder às seguintes questões:

- A aplicação por pincelagem é mais eficaz do que por aspersão?
- A volatilidade e características da acção do álcool permitem diminuir o tempo de actuação necessário?
- As duas semanas de actuação, anteriormente seleccionadas para teste por razões empíricas, são adequadas a estes novos produtos?
- A repetição de aplicações – dos produtos isolados ou em combinação – permite dispensar a escovagem?

Ao contrário das primeiras aplicações, feitas por pincelagem, nestes novos ensaios as aplicações foram feitas por aspersão, reforçando a premissa de que a elaboração destes protocolos visa a sua aplicabilidade num contexto real de obra (ex.: uma fachada de um edifício). O princípio foi o de otimizar um protocolo que respondesse às condicionantes de logística e custos com que as empresas trabalham, devendo aqui recordar-se que, cada vez mais, a grande maioria das intervenções é adjudicada sob fortes restrições orçamentais. Na tabela seguinte descrevem-se os protocolos de aplicação testados.

	Balaústre	1º dia	2º dia	10º dia	18º dia
Álcool a 70%	A	1x aplicação aspersão	escovar		
	B	1x aplicação aspersão		escovar	
	C	1x aplicação aspersão			escovar
	D	1x aplicação aspersão		1x aplicação aspersão	
Biotersus® a 10%	F	1x aplicação aspersão	escovar		
	G	1x aplicação aspersão		escovar	
	H	1x aplicação aspersão			escovar
	I	1x aplicação aspersão		1x aplicação aspersão	
Ambos	K	1x aplicação álcool 70%		1x aplicação Biotersus® a 10%	

Tabela 4: Segunda série de testes.

3.4 Metodologias de avaliação

A avaliação de resultados foi feita por observação macroscópica, quer directa, quer apoiada por fotografia normal; e por registos colorimétricos das zonas claras e escuras dos balaústres (ver imagem 8), realizados antes e após as aplicações dos produtos.

As medições foram recolhidas em várias datas, sendo que as primeiras foram agendadas de forma a que coincidissem com os tempos de actuação propostos, permitindo desta forma avaliar a eficácia imediata, relevante em contextos de intervenção. As medições feitas ao fim de dois anos, por seu turno, permitem apoiar a definição protocolos de manutenção.

A tabela abaixo representa as datas em que essas mesmas medições foram realizadas:

	2019	2020				2022						
	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
Captção de imagens												
Balaústre 1-48	6 e 23	6 e 21	27		22							
Balaústre 31-36												5
Balaústre A a K									5			5
Medições colorimetro												
Balaústre 1-48	6 e 23	6 e 21	27		22							
Balaústre 31-36												5
Balaústre A a K						4, 12 e 18			5			5

Tabela 5 Calendário dos registos colorimétricos e fotográficos.



Imagem 8: Ilustração das áreas escuras e claras. Fonte: Joana Muge/NC



Imagem 9: Sequência de registos realizados. Fonte: Joana Muge/NC



Imagem 10: Pormenor da colonização biológica presente na balaustrada. Fonte: Joana Muge/NC

3.4.1 Eficácia – Avaliação macroscópica

A avaliação macroscópica – neste caso realizada *in loco* através da observação directa dos balaústres e complementada através de registos captados por uma câmara fotográfica Canon EOS 700D (Tóquio, Japão) – é o primeiro passo e, muitas vezes, o mais importante, na avaliação dos resultados de um ensaio ou teste em bens culturais. De facto, Vergès-Belmin [1996] refere que a inspecção visual de superfícies sujeitas a testes de limpeza são uma “boa ferramenta” e “a forma mais simples de avaliação” [Vergès-Belmin 1996: 70], sem prejuízo, naturalmente, da conjugação com outros métodos que permitam reduzir a subjectividade das apreciações.

Foi, pois, avaliado o aspecto das superfícies após limpeza, classificando-as quanto à eficácia imediata e de longo prazo dos tratamentos, de forma a expressar:

- apreciação das diferenças entre os balaústres circundantes, de uma mesma série, sujeitos às mesmas condições, 1 mês após a aplicação do biocida;
- apreciação das diferenças entre os balaústres sujeitos ao mesmo produto, um mês após o tratamento com o mesmo biocida;
- apreciação das diferenças entre o antes e o depois do mesmo balaústre, dois anos após o tratamento (para os balaústres da primeira série de ensaios) e um mês após o tratamento (para os balaústres da segunda série de ensaios).

Para esta avaliação foi definido um sistema de classificação que incide sobre os três pontos mencionados acima. A cada um destes parâmetros, foram atribuídos valores de 1 (resultados menos satisfatórios/menos eficaz) a 3 (resultados mais satisfatórios/mais eficaz) por duas conservadoras-restauradoras de materiais pétreos com mais de cinco anos de experiência em contexto de intervenção; a soma simples destes valores permitiu chegar a uma classificação final. Esta classificação final pode ser balizada da seguinte forma:

- Classificação [3-4]: eficácia baixa;
- Classificação [5-7]: eficácia média;
- Classificação [8-9]: eficácia alta.

3.4.2 Eficácia – Medições de cor

Nas medições de cor foi utilizado um equipamento Colourpin SE, da NCS Colour AB (Estocolmo, Suécia), que permite obter valores *tristimulus* no sistema de cor CIELAB. A

área de medição de um Colourpin SE é de cerca de 4 mm de diâmetro, que corresponde a uma área de cerca de 12,57 mm² [NCS Colour 2017].

No sistema CIELAB, a cor é caracterizada pelos três parâmetros L*a*b*. L* representa a luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco); a* varia entre -a* (mais verde) e +a* (mais vermelho); b* varia entre -b* (mais azul) e +b* (mais amarelo). Cada parâmetro pode ser representado num eixo e a representação tridimensional dos parâmetros configura um diagrama de cor cuja origem é acromática (sem cor).

A utilização de colorimetria na avaliação da acção de biocidas é frequente [e.g. Pozo-Antonio *et al.* 2017; Sanmartín *et al.* 2020] – a medição de parâmetros de cor é um método não destrutivo, relativamente acessível, e que pode utilmente complementar a análise visual e os registos fotográficos no âmbito de intervenções de CR, dado que muitas vezes as diferenças não são suficientemente perceptíveis para o olho humano.

No presente ensaio, os parâmetros de medição foram seleccionados por referência à norma EN 15886:2010: iluminante padrão D65 (luz do meio dia) e observador padrão CIE 1964 10° [UNI EN 2010].

Foram seleccionadas duas zonas em cada balaústre para a recolha de dados L*a*b*: uma com colonização mais escura – designada ‘zona escura’, tipicamente zonas sub-horizontais e/ou relativamente menos expostas –, e uma onde os organismos eram mais escassos ou de cor mais clara – designada ‘zona clara’ (ver imagem 8); para cada balaústre, foram feitas 6 medições (3 na zona escura e 3 na zona clara). De notar que as zonas de amostragem podem não ter sido exactamente as mesmas, ainda que se tenha tentado a maior aproximação possível para minimizar o erro na comparação de dados obtidos em datas diferentes.

Nos cálculos das variações de cor antes do tratamento (AT) e depois do tratamento (DT) utilizaram-se, então, médias simples de cada grupo de 3 medições, obtendo-se a variação (delta (Δ)) de acordo com as seguintes fórmulas:

- $\Delta L^* = L_{DT} - L_{AT}$
- $\Delta a^* = a_{DT} - a_{AT}$
- $\Delta b^* = b_{DT} - b_{AT}$

Como critérios de avaliação foram usadas as variações dos três parâmetros de cor, analisadas separadamente:

- ΔL^* : permite avaliar alterações de luminosidade, sendo o resultado considerado tanto melhor quanto mais elevado for o seu valor;
- Δa^* : permite detectar a variação da cor entre o verde e o vermelho – verde ($-a^*$) e vermelho ($+a^*$) –, sendo o resultado considerado tanto melhor quanto mais elevado for o seu valor, o que indica transição para valores menos verdes;
- Δb^* : permite detectar a variação da cor entre o azul e o amarelo – azul ($-b^*$) e amarelo ($+b^*$) –, sendo o resultado considerado tanto melhor quanto mais baixo for o seu valor, o que indica transição para cores mais frias.

3.4.3 Avaliação da sustentabilidade

Para o estudo em questão, é fundamental associar a eficácia dos protocolos aplicados à sua *sustentabilidade* – incluindo a eco-compatibilidade. É por isso importante pensar a relação entre estes dois critérios, tendo em conta que o equilíbrio entre os dois não é necessariamente evidente.

Isto é, se a eficácia de um biocida depender do uso de mais recursos do planeta - como por exemplo a água -, ou se o protocolo exigir o emprego de polímeros sintéticos - manga plástica - para resultados satisfatórios, então, quando comparado com um biocida que provoque um menor impacto ambiental - pelo menor uso de água e sem recurso a polímeros sintéticos - a escolha recairá sobre a segunda opção.

A sustentabilidade de cada protocolo e a toxicidade dos biocidas escolhidos para este estudo foram avaliadas de forma semi-quantitativa, análoga à anteriormente descrita para avaliação da eficácia, com atribuição de valores de 1 a 3 - onde 1 corresponde a menos ecocompatível / mais tóxico e 3 a mais ecocompatível / menos tóxico. Na primeira série de testes esta pontuação foi atribuída a três parâmetros – uso de recursos, eco-toxicidade (ambiental) e toxicidade para o operador – e a sua soma simples resultou num valor global para cada combinação produto-protocolo.

Na segunda série de testes, quando avaliada a sustentabilidade, os dois critérios que mais pesaram na atribuição de pontos foram o recurso (ou não) à escovagem e diferenças entre os valores do DL50 dos dois produtos testados – etanol e Biotersus®.

4. Resultados e discussão

4.1 Primeira série de testes

Como já foi referido, o objectivo deste estudo foi comparar a eficácia de dois produtos com propriedades biocidas mais eco-compatíveis (álcool a 70% e um produto à base de óleos essenciais, o Biotersus®) com um biocida convencional e regularmente usado em intervenções sobre materiais pétreos, o Preventol®RI80.

Este primeiro conjunto de testes teve início em Dezembro de 2019, permitindo uma janela temporal de dois anos para acompanhar a eficácia (ou não) dos produtos aplicados. O acompanhamento e observação da evolução de possíveis recolonizações foi feita por duas vias: a observação directa e a recolha de dados de cor (no sistema CIELAB $L^*a^*b^*$, tal como descrito no capítulo anterior) através de um colorímetro.

4.1.1 Eficácia – Avaliação macroscópica

A observação macroscópica (cf. registos fotográficos anexos) permitiu uma primeira classificação das diferentes soluções biocidas, com a apreciação do impacte da limpeza sobretudo baseada na maior ou menos claridade dos tons do material lítico após tratamento. Nos casos de diferenças extremamente subtis, são úteis os dados do colorímetro, que permitiram por exemplo confirmar que a pré-lavagem e a cobertura das superfícies durante o período de actuação dos biocidas não trouxeram ganhos de eficácia suficientemente relevantes (cf. subsecção seguinte).

Elaborado de acordo com a metodologia de avaliação macroscópica da eficácia atrás descrita, o gráfico abaixo representa a classificação final de cada biocida (os valores parcelares encontram-se em anexo).

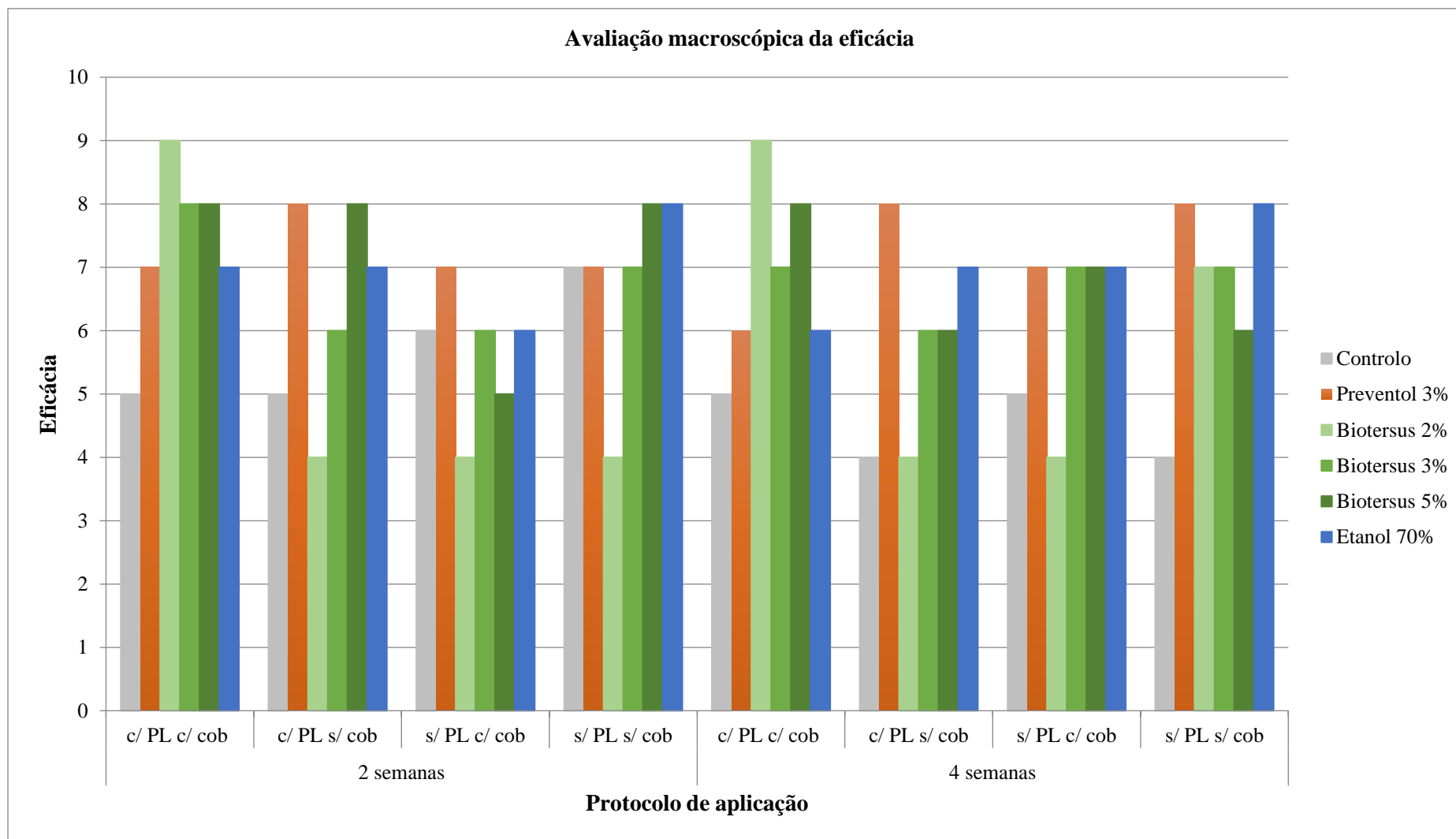


Gráfico 1: Avaliação macroscópica da eficácia dos diferentes biocidas e protocolos testados na primeira série de ensaios.

O gráfico mostra a eficácia de cada biocida com as variantes a que esteve sujeito – tempo de actuação, pré-lavagem ou não, e cobertura com manga plástica ou não.

- Comparação da eficácia dos diferentes biocidas

Curiosamente, no que diz respeito à avaliação macroscópica, o Biotersus® a 2% é o que apresenta os melhores resultados globais. No entanto, estes valores não são consistentes em todas as condições de aplicação, como se pode verificar quando comparada a eficácia do Biotersus® a 2% com a dos respectivos balaústres de controlo (sujeito às mesmas condições da série de balaústres, mas sem aplicação de biocida).

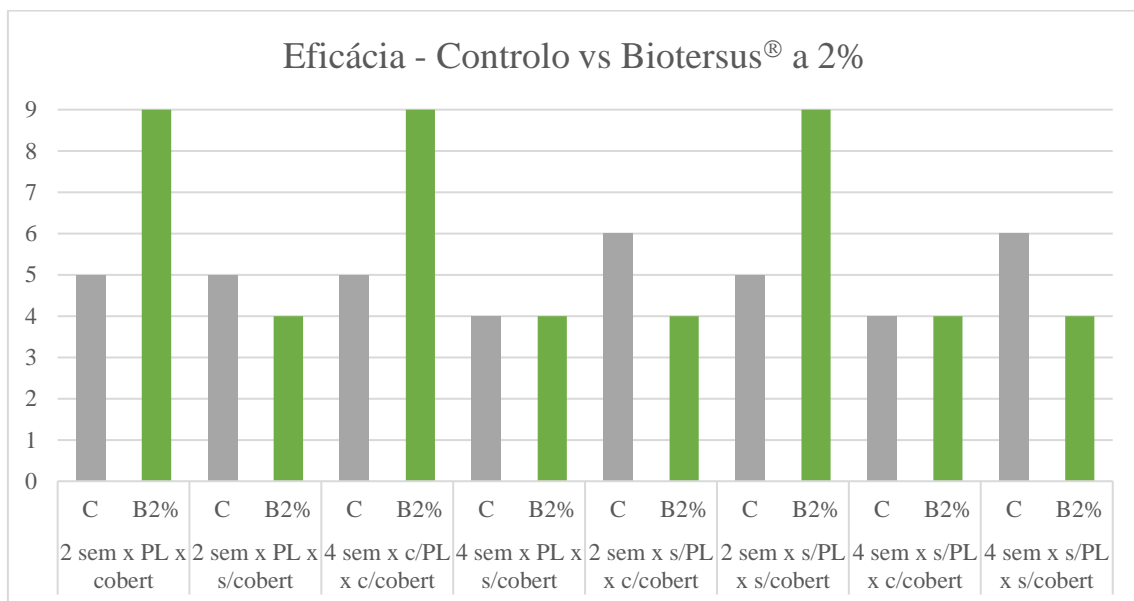


Gráfico 2: Eficácia do biotersus a 2% quando comparada com o balaústre de controlo pertencente ao mesmo conjunto.

Esta diluição de Biotersus 2% é a única que apresenta, em dois protocolos – 4 semanas com pré-lavagem e sem cobertura e 4 semanas sem pré-lavagem e com cobertura –, uma estagnação, isto é, valores iguais aos do balaústre de controlo; é, ainda, a única diluição que apresenta, em três protocolos – 2 semanas com pré-lavagem e sem cobertura, 2 semanas sem pré-lavagem e com cobertura e 4 semanas sem pré-lavagem e sem cobertura –, uma eficácia inferior à dos respectivos balaústres de controlo.

Dado que o Biotersus® foi, como se disse, aplicado numa concentração bastante mais reduzida do que a recomendada pelo fabricante, não era expectável a sua maior eficácia; por outro lado, a aparentemente elevada eficácia em dois dos balaústres é desmentida pela

inconsistência dos resultados; tendo igualmente sido posta em causa pelos valores das medições colorimétricas (ver mais abaixo).

Do ponto de vista da consistência dos resultados macroscópicos, i.e., da eficácia na eliminação de colonização biológica apercebida a olho nú, os produtos que, de uma forma geral, em todos os protocolos, demonstraram o melhor desempenho foram o Preventol RI80, o Biotersus a 5% e o álcool etílico a 70%, tal como se pode ajuizar da análise do gráfico acima apresentado e dos gráficos de comparação entre cada biocida e o seu homólogo de controlo (apresentados em anexo).

Entre estes três produtos, as diferenças de eficácia são mais ténues, cf. gráfico abaixo.

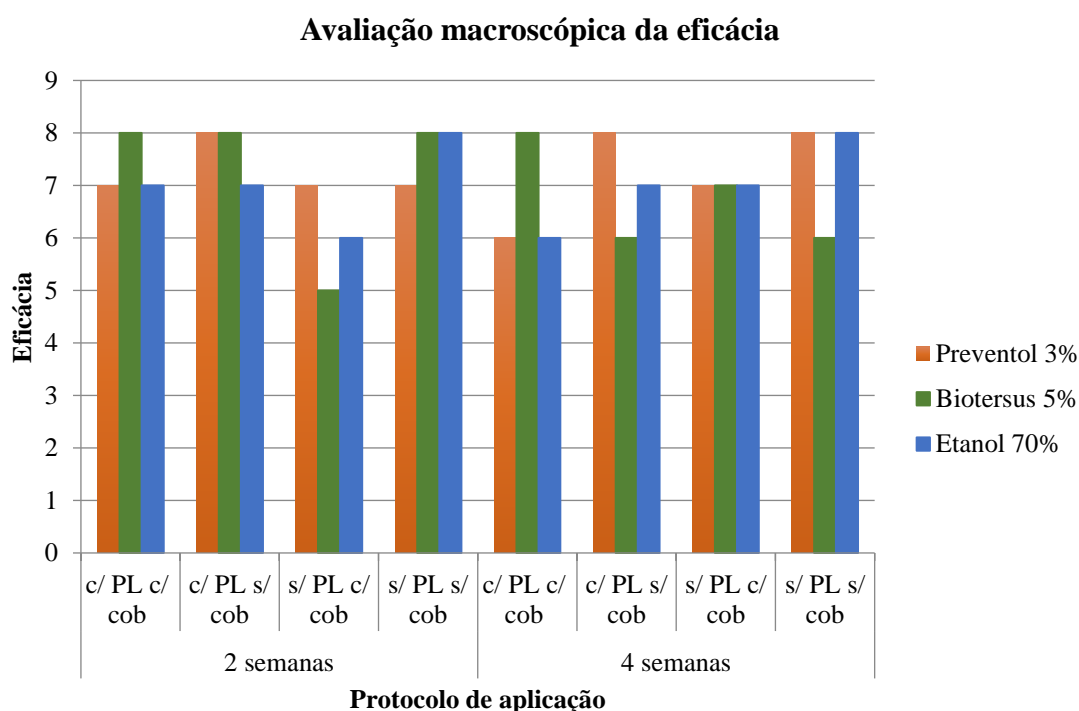


Gráfico 3: Eficácia macroscópica dos biocidas *Preventol a 3%*, *Biotersus a 5%* e *etanol a 70%*.

Como se pode ajuizar neste gráfico, nenhum dos três biocidas apresenta valores consistentemente acima dos restantes, com o Biotersus a 5% a apresentar os resultados mais dispersos. O que se pode no entanto concluir é que os resultados obtidos confirmam a comparável eficácia dos três produtos, não se considerando que o biocida convencional (Preventol RI80) se destaque em termos de desempenho nos balaústres ensaiados.

- *Avaliação de protocolos de aplicação*

A avaliação macroscópica indica que não há um protocolo de aplicação que seja claramente mais eficaz do que os restantes. Os diagramas seguintes apresentam a informação contida no gráfico acima separada de acordo com o produto, onde é mais fácil de verificar que não há – para nenhum dos produtos testados – um ganho de eficácia ligado ao tempo de actuação mais extenso (4 semanas).

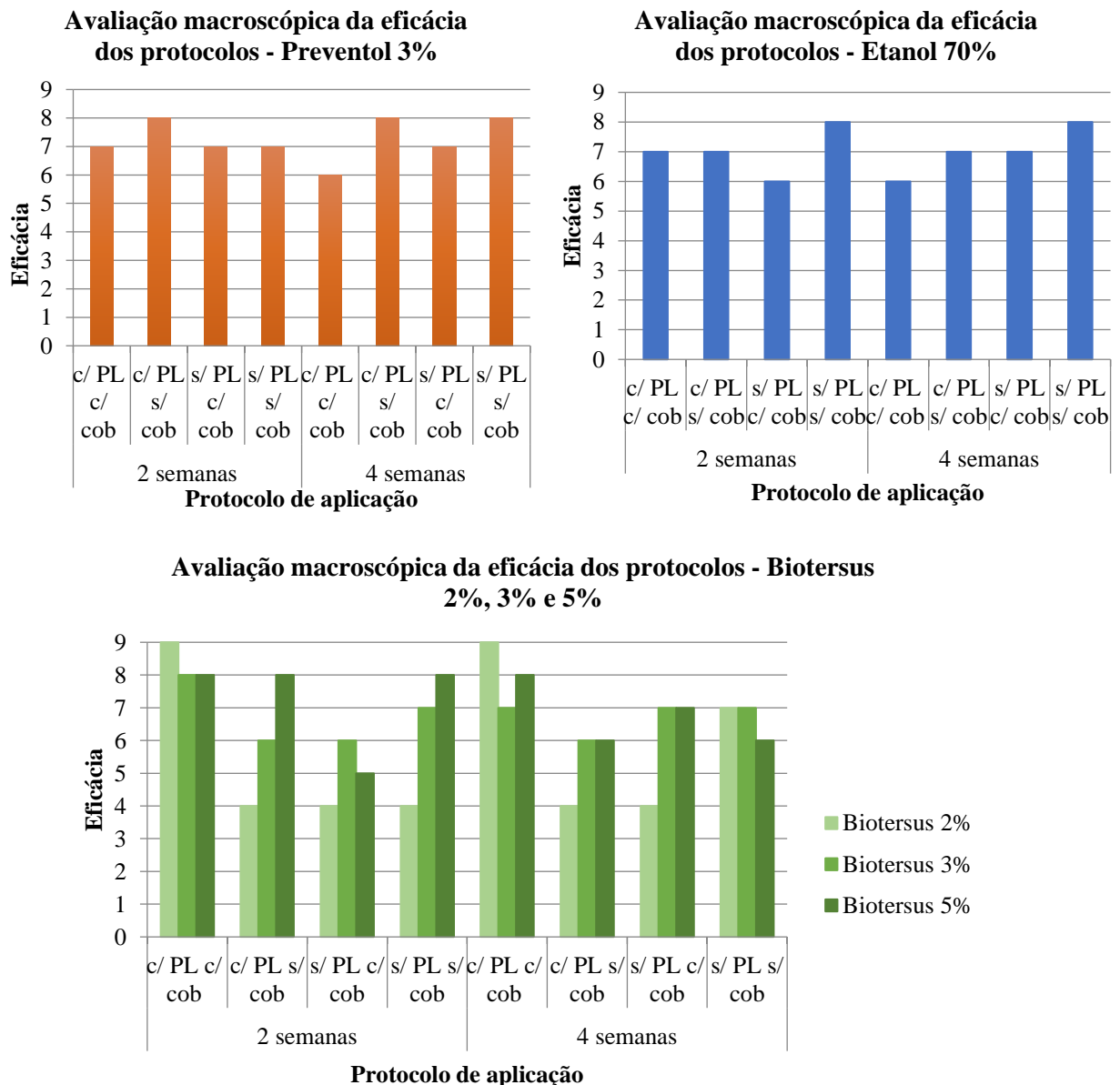


Gráfico 4: Eficácia dos diferentes biocidas utilizados de acordo com o tempo de actuação.

A mesma informação esquematizada de acordo com a realização ou não de pré-lavagem antes da aplicação do produto biocida indica, no entanto, haver um aparente benefício no

caso do Biotersus, que em geral parece ter sido mais eficaz nos balaústres alvo de pré-lavagem, sem que, contudo, os ganhos de eficácia sejam substanciais. Diversamente, o etanol parece ter tido resultados ligeiramente melhores nos balaústres que não foram pré-lavados, pese embora as diferenças não sejam significativas; enquanto que o Preventol RI80 não acusou diferenças de maior. Os balaústres de controlo não apresentam uma tendência clara, e as eventuais diferenças de eficácia dever-se-ão a outras condicionantes que não a realização ou não de pré-lavagem.

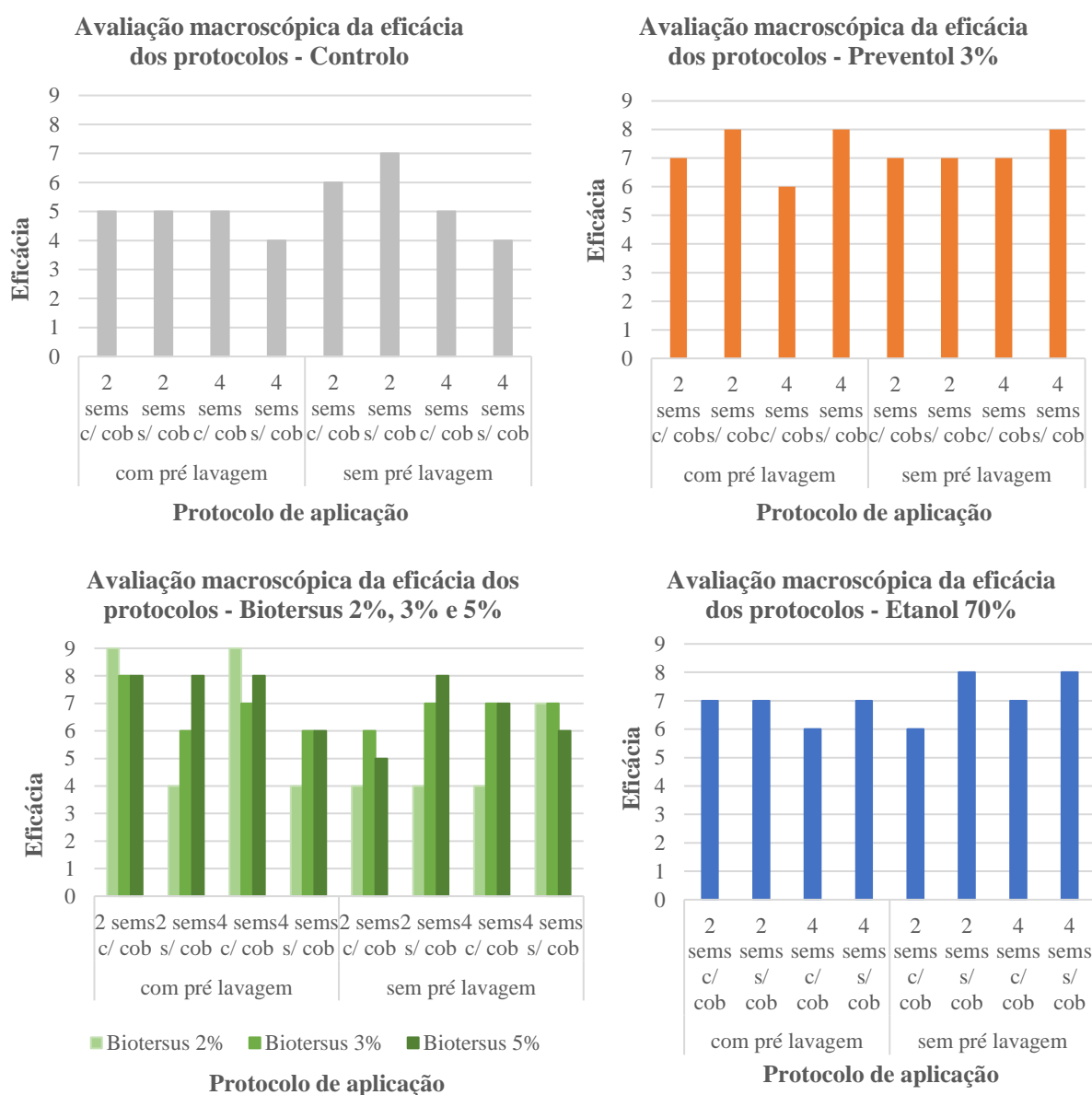


Gráfico 5: Eficácia dos diferentes biocidas de acordo com a realização ou não de pré-lavagem.

Por seu lado, o bloquear da luz solar durante a actuação dos biocidas não revelou trazer ganhos evidentes em termos de eficácia, como o indicam os gráficos abaixo. Apenas no

caso do Biotersus parece existir um benefício na cobertura das superfícies durante a actuação do biocida; no entanto, os ganhos mais evidentes registam-se, precisamente, para a diluição mais elevada (2%), e claramente insuficiente para, por si só, ter um efeito consistente. Nos balaústres em que foram aplicadas diluições mais baixas (3% e 5%), os ganhos de eficácia permitidos pelo bloqueio da luz solar não aparentam ser substancialmente superiores. Por seu lado, o Preventol e o etanol parecem ter actuado com maior eficácia nos balaústres em que não foi aplicada protecção, embora as diferenças não sejam significativas.

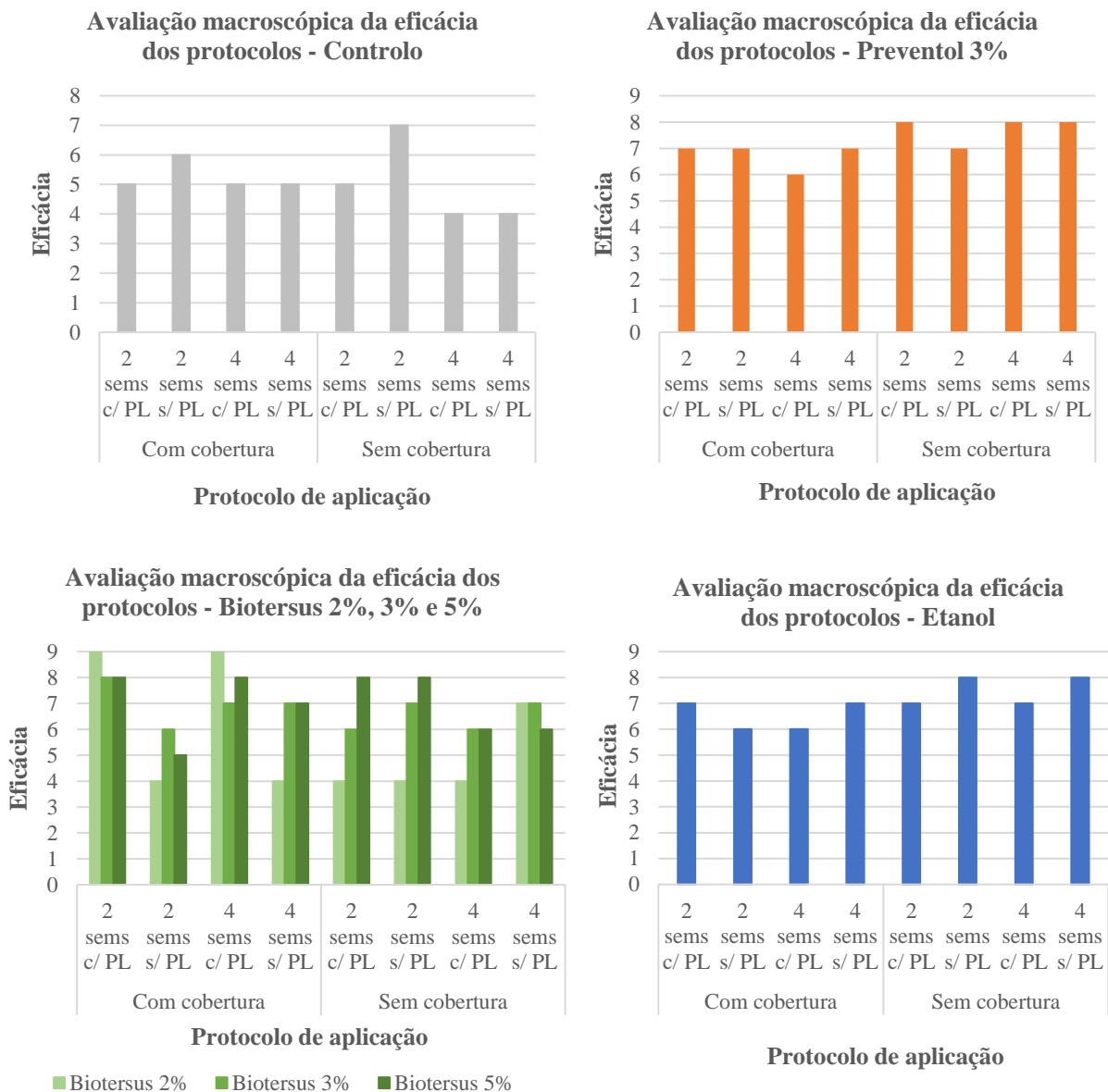


Gráfico 6: Eficácia dos diferentes biocidas de acordo com a exposição ou não à luz solar durante a actuação.

Concluiu-se, pois, que em termos macroscópicos, o dispêndio de recursos adicionais – tempo de actuação, água e esforço humano para a pré-lavagem, manga plástica para o

bloqueio da luz solar – não se traduz num aumento de eficácia das soluções biocidas aplicadas.

4.1.2 Eficácia - Medições de cor

Em termos de eficácia biocida, a recolha de dados com o colorímetro, não obstante alguma eventual inexactidão devido a pequenas variações da zona de registo, permitiu conclusões próximas das obtidas por meio da análise visual.

Por outro lado, foi também possível confirmar que as variações de protocolo – realização ou não de pré-lavagem; colocação ou não de manga plástica para bloqueio da luz solar; tempo de actuação de 2 ou de 4 semanas – não parecem trazer ganhos de eficácia suficientemente substanciais para justificar o seu emprego e consequente acréscimo no uso de recursos.

- **Avaliação de biocidas**

A avaliação macroscópica tinha revelado o Preventol a 3%, o Biotersus a 5% e o etanol a 70% como mais eficazes em termos de desempenho. A análise colorimétrica confirmou estes resultados em termos de valores médios:

Tratamento	Zona	ΔL^*		Δa^*		Δb^*	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ
Controlo	Clara	0,919	4,000	2,751	1,321	1,344	1,857
	Escura	15,631	8,538	0,488	1,986	<u>-2,196</u>	2,711
Preventol 3%	Clara	6,038	6,546	<u>4,272</u>	1,331	2,280	2,385
	Escura	29,866	5,088	1,445	1,476	0,943	2,224
Biotersus 2%	Clara	<u>8,354</u>	6,791	4,085	1,581	<u>0,873</u>	2,461
	Escura	18,888	9,625	1,600	1,762	-0,427	1,839
Biotersus 3%	Clara	5,155	2,929	4,008	1,817	1,309	2,562
	Escura	22,395	5,977	0,306	2,639	-1,491	2,484
Biotersus 5%	Clara	5,112	2,316	4,153	1,454	1,894	1,160
	Escura	24,307	4,810	2,407	1,611	0,820	2,345
Etanol	Clara	5,989	6,198	4,181	1,864	1,265	2,496
	Escura	<u>32,283</u>	2,101	<u>4,940</u>	1,656	2,637	2,178

Tabela 6: Médias (μ) e respectivos desvios-padrão (σ) das variações dos parâmetros de cor dos balaústres após tratamento biocida (melhores resultados sublinhados).

Como se pode verificar, os melhores resultados foram, em média, obtidos com recurso à aplicação de etanol a 70% nas zonas escuras – apesar de os resultados no parâmetro Δb^* terem ficado aquém dos obtidos com o emprego de outras soluções biocidas. Nas zonas claras, os melhores resultados, em média, foram obtidos nos balaústres tratados com Biotersus a 2%, mas foi também com o Biotersus a 2% que se obtiveram os piores resultados para as zonas escuras, que, no caso do ΔL^* , apresentaram valores comparáveis aos dos balaústres de controlo. A análise colorimétrica veio, neste caso, corroborar a avaliação macroscópica da eficácia.

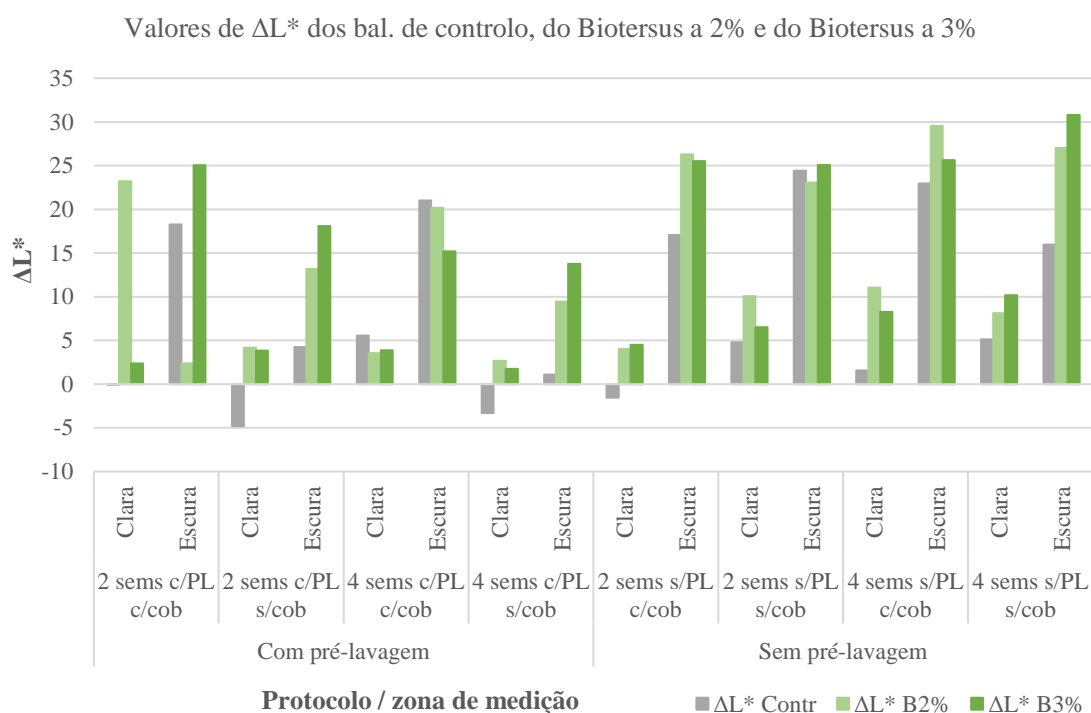


Gráfico 7: Comparação da variação de L^* para os balaústres de controlo, Biotersus a 2% e Biotersus a 3%

No caso do parâmetro Δa^* , as melhores médias nas zonas claras foram obtidas nos balaústres tratados com Preventol RI80, mas o etanol ficou bastante próximo; sendo que, nas zonas escuras, o etanol teve um desempenho claramente superior. Finalmente, para o parâmetro Δb^* , os melhores resultados médios das zonas escuras foram os dos balaústres de controlo, indicando que a lavagem com água tem de facto um impacto de limpeza, com progressão para tons mais frios; enquanto que nas zonas claras o Biotersus a 2% foi o que causou o menor aumento do parâmetro.

Em termos médios pode, ainda, afirmar-se que o Preventol RI80, o Biotersus a 5% e o etanol têm desempenhos comparáveis, mormente em termos da variação de luminosidade (ΔL^*).

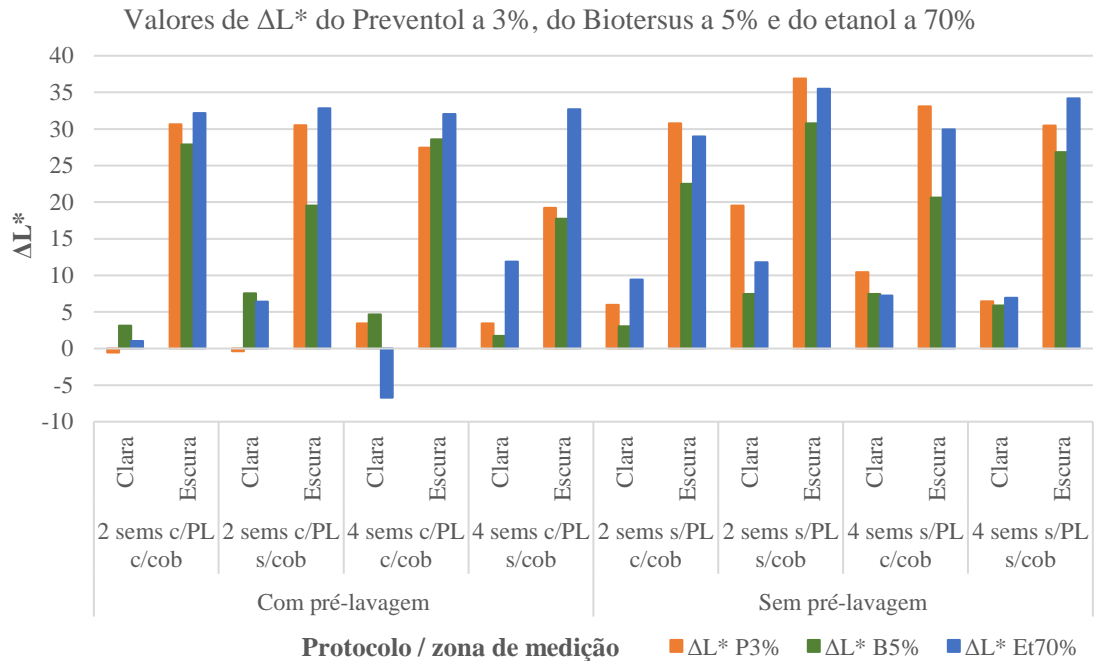


Gráfico 8: Comparação da variação de ΔL^* para as biocidas com melhor desempenho: Preventol a 3%; Biotersus a 5% e etanol a 70%.

De entre estas três soluções, em termos colorimétricos, é notório o bom desempenho do etanol, ficando o Biotersus a 5% geralmente mais abaixo do que os restantes biocidas – excepção feita para as zonas claras de alguns dos balaústres nos quais foi realizada pré-lavagem. De notar a presença de uma evolução negativa nas zonas claras dos balaústres tratados com etanol, com pré-lavagem e cobertos durante 4 semanas, valor que poderá tratar-se de um *outlier* ou resultar de as medições iniciais terem sido efectuadas sobre um líquene branco, de facto mais claro do que a pedra subjacente e que ficou à vista após limpeza. Exceptuando este caso pontual, os balaústres tratados com etanol têm um desempenho em tudo aproximável do dos tratados com Preventol.

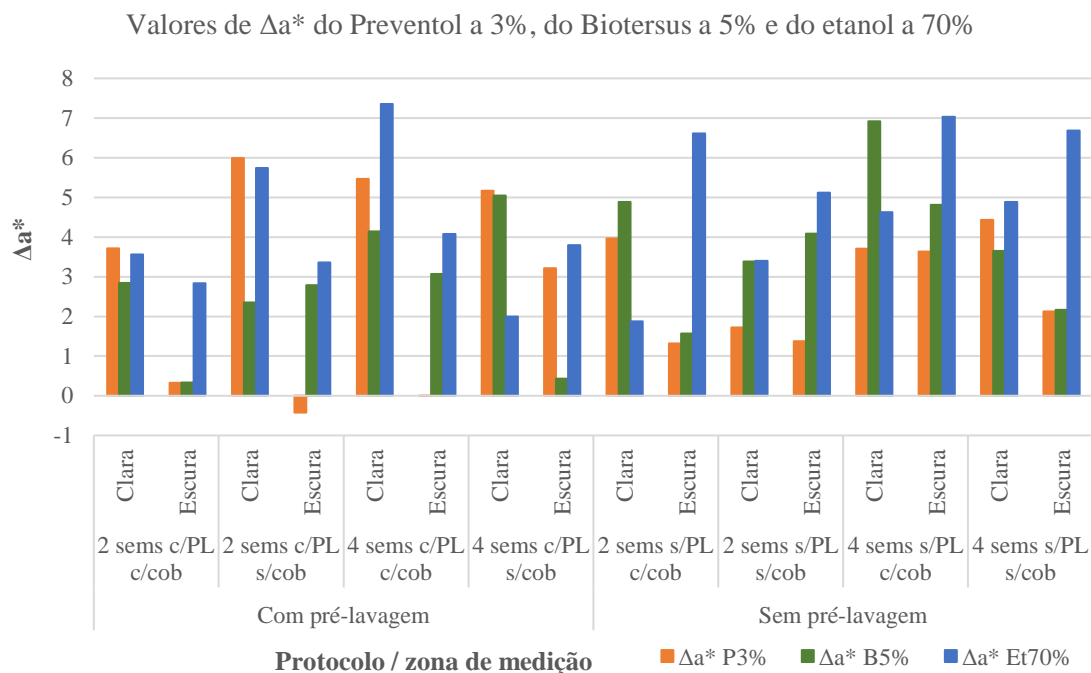


Gráfico 9: Comparação da variação de Δa^* para os biocidas com melhor desempenho: Preventol a 3%; Biotersus a 5% e etanol a 70%.

Também no caso do parâmetro Δa^* se verifica um desempenho comparável entre os três biocidas tidos como mais eficazes na observação macroscópica, aqui com o etanol a suplantar claramente o Preventol RI80, sobretudo nas áreas não pré-lavadas, nas quais o Preventol teve o pior desempenho dos três biocidas.

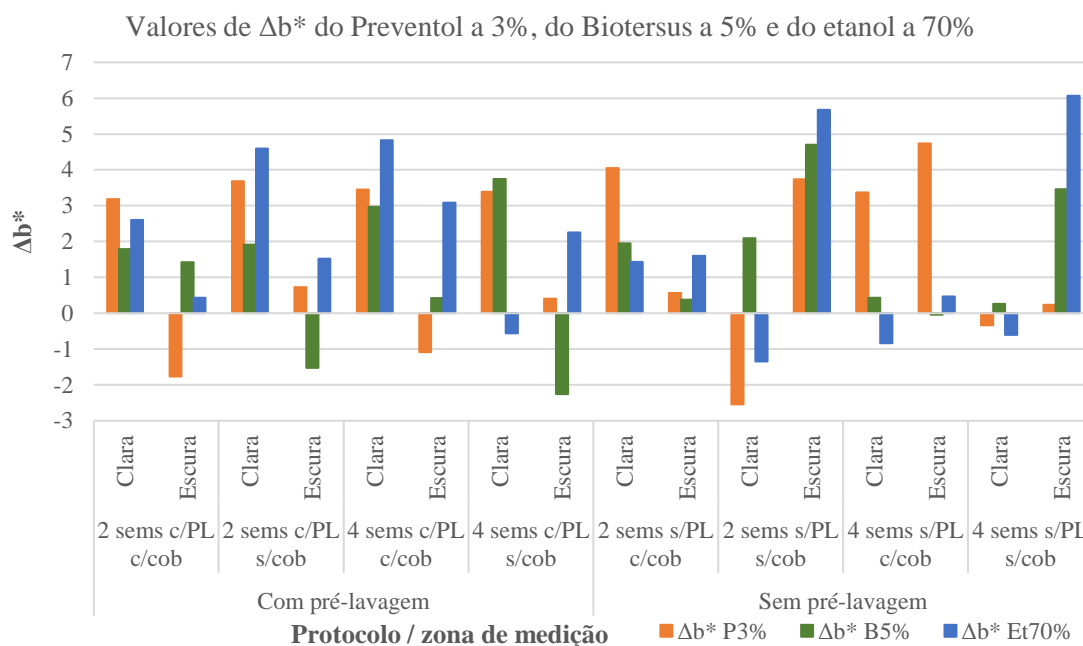


Gráfico 10: Comparação da variação de Δb^* para os biocidas com melhor desempenho: Preventol a 3%; Biotersus a 5% e etanol a 70%.

Finalmente, no caso das variações medidas para o parâmetro Δb^* , anota-se o facto de os biocidas testados não terem geralmente conseguido uma variação na direcção pretendida (cores mais frias – valores de Δb^* mais negativos). Por outro lado, os resultados obtidos não demonstram cabalmente qual dos consolidantes é o melhor ou o pior, sendo a dispersão de valores demasiado elevada.

Apesar dos resultados pouco claros do parâmetro Δb^* , é possível afirmar que o Preventol RI80 a 3%, o Biotersus a 5% e o etanol a 70% têm uma eficácia biocida comparável entre si, tal como se concluiu a partir da observação macroscópica dos resultados dos tratamentos.

- **Avaliação de protocolos de aplicação**

A análise de resultados de colorimetria em diagramas organizados de acordo com as variações de protocolo permite uma melhor visualização dos resultados dos tratamentos do ponto de vista da variação dos parâmetros de cor. Por exemplo, no caso da realização ou não de pré-lavagem, nenhum dos balaústres, incluindo os de controlo, mostrou diferenças indicadoras de maior eficácia (ΔL^* mais altos; Δa^* mais positivos; Δb^* mais negativos), tal como se pode verificar nos gráficos abaixo, com os resultados obtidos para

o Preventol RI80 e para o Biotersus a 3% (os gráficos para as restantes soluções biocidas podem ser consultados em anexo).

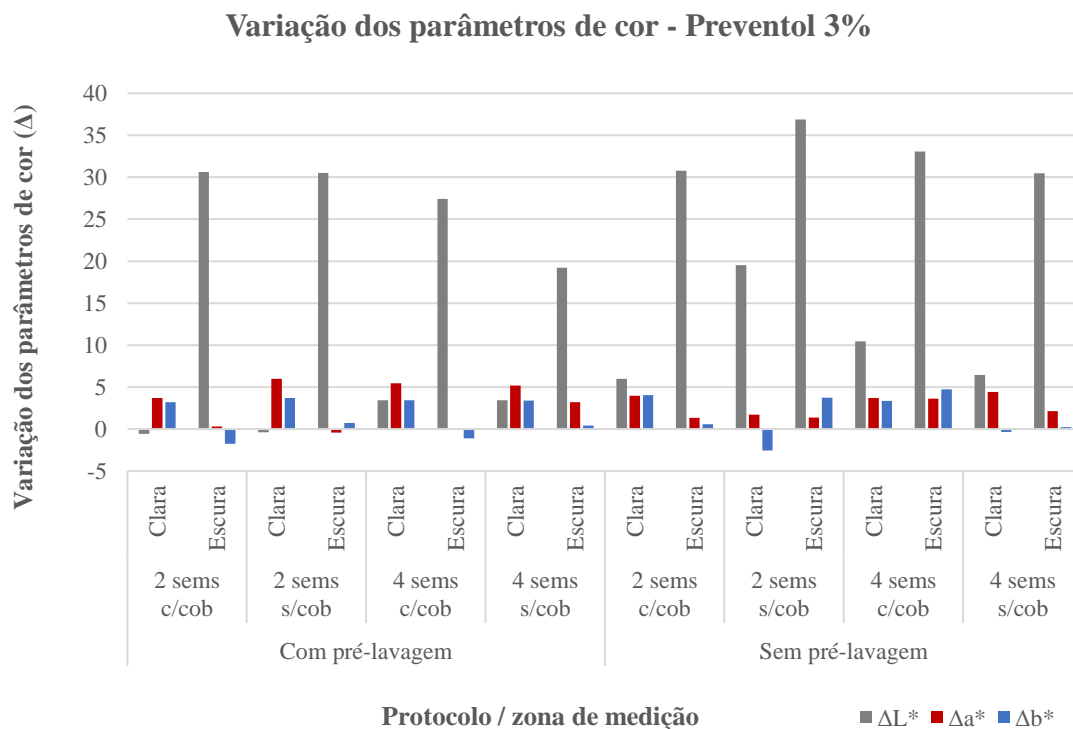


Gráfico 11: Variação dos parâmetros de cor dos balaústres tratados com Preventol RI80 a 3%.

Em geral, no caso dos balaústres tratados com Preventol RI80, não só não parecem ter existido ganhos com a pré-lavagem, como, até, a eficácia do produto parece ter sido ligeiramente superior nos balaústres que não foram lavados previamente à aplicação e actuação do biocida.

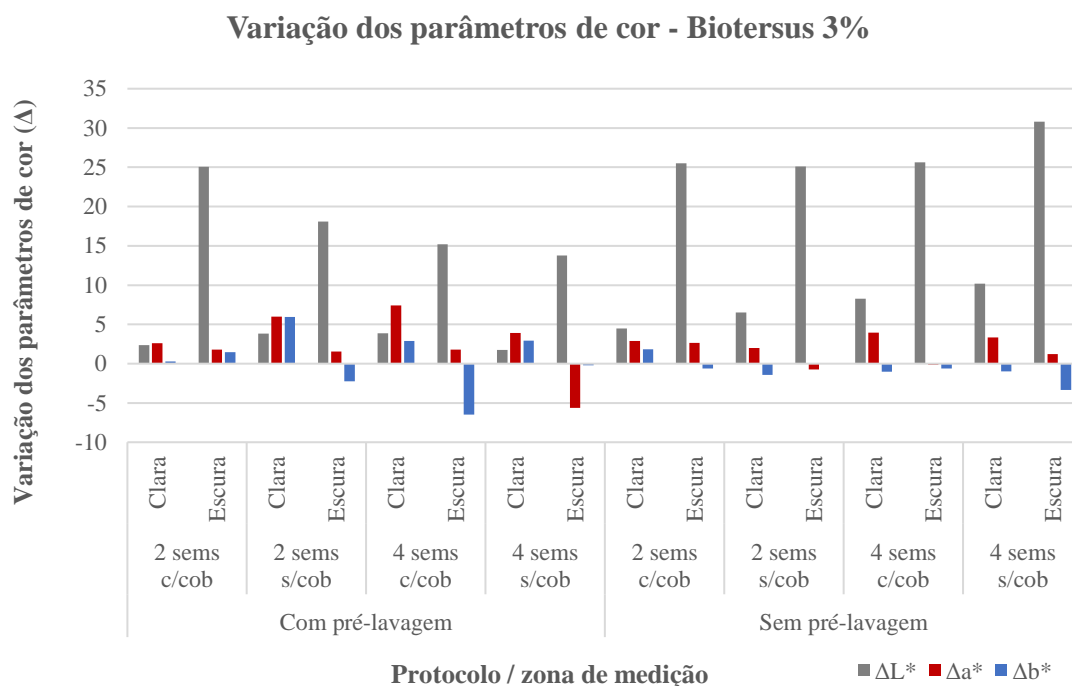


Gráfico 12: Variação dos parâmetros de cor dos balaústres tratados com Biotersus a 3%.

No caso do Biotersus aplicado a 3%, os resultados foram globalmente melhores nos balaústres sem pré-lavagem, como se pode observar no diagrama acima. Similar comportamento foi observado nos balaústres nos quais se aplicou Biotersus a 2%, pese embora a aplicação de Biotersus a 5% não tenha mostrado esta tendência de forma tão clara: neste caso, aliás como no caso do etanol a 70%, não são notórias diferenças entre balaústres pré-lavados ou não (cf. gráficos com as variações dos parâmetros de cor para os diferentes biocidas apresentados em anexo).

Assim, concluiu-se, macroscopicamente e por via da colorimetria, que as variantes – cobrir balaústres com manga plástica, fazer uma pré-lavagem da área a tratar e esperar 4 semanas pela actuação dos produtos – não mostraram melhorias significativas na eficácia dos tratamentos face aos balaústres que não foram pré-lavados, que não foram cobertos e que apenas tiveram 2 semanas de actuação dos biocidas. As variantes que implicam um maior dispêndio de recursos foram, pois, abandonadas na segunda série de testes.

4.1.3 Avaliação da sustentabilidade

O gráfico abaixo é o resultado da soma dos três parâmetros da avaliação da sustentabilidade, de acordo com a metodologia de avaliação descrita; os valores parcelares encontram-se em anexo.

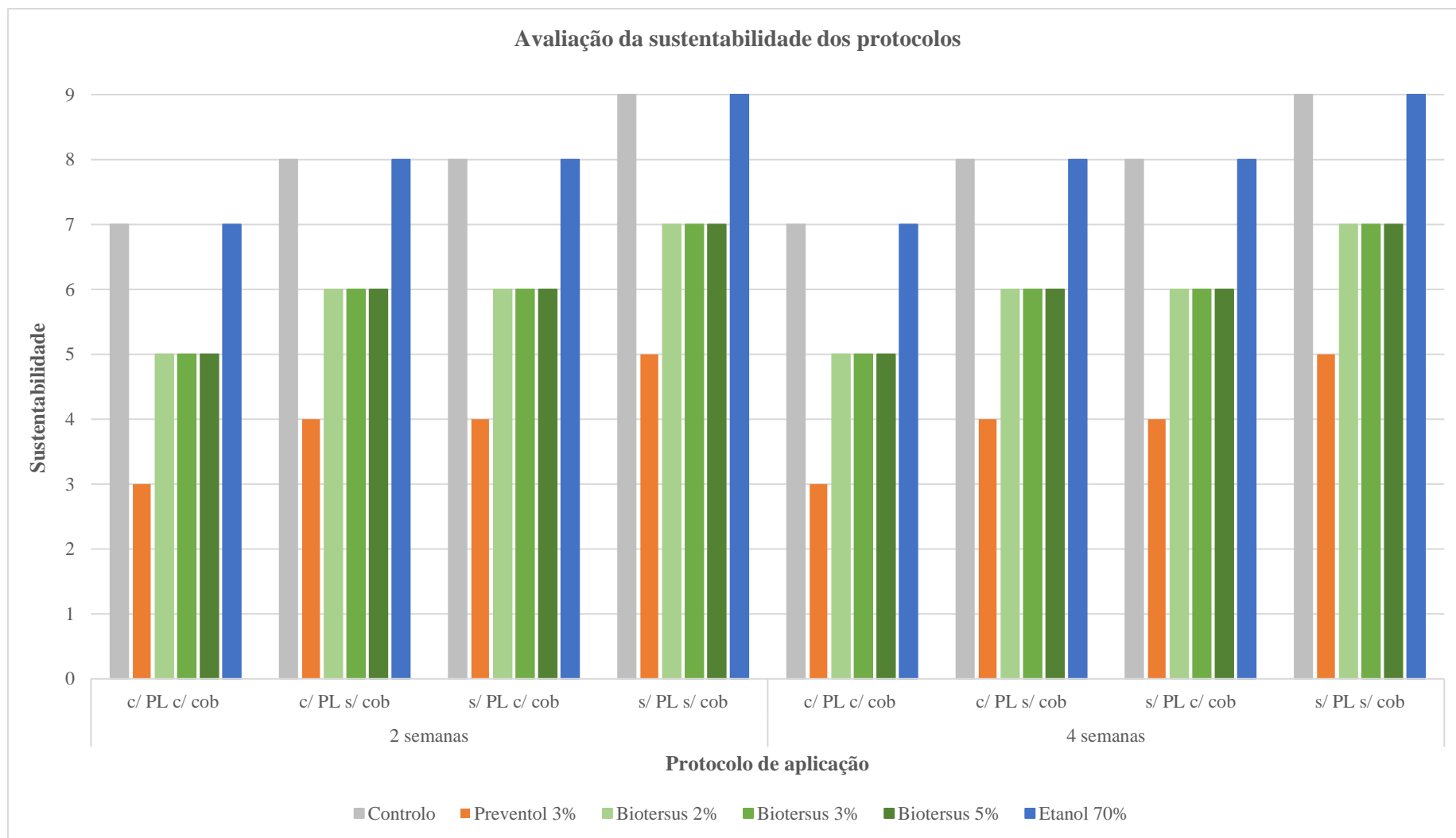


Gráfico 13 Sustentabilidade dos biocidas e protocolos testados.

A análise do gráfico permite rapidamente perceber, pela mancha desenhada, quais os balaústres que apresentam valores de sustentabilidade mais elevada: os de controlo, naturalmente, dado que não incluem produtos tóxicos; e os balaústres sujeitos a tratamento com o álcool a 70%, cuja toxicidade – quer para o operador ou operadora, quer para o meio ambiente, dada a sua volatilidade – é a mais baixa de todos os biocidas testados – o DL50 do álcool é de 10470 mg/kg, enquanto os do Preventol® RI80 e os do Biotersus® são de 398 mg/kg e 1602,69 mg/kg, respectivamente; ou seja, é preciso uma maior concentração de álcool, comparada com a concentração dos outros dois biocidas, para provocar intoxicação.

4.1.4 Anotações sobre a eficácia de longo-prazo

Tendo em conta as avaliações de eficácia e sustentabilidade, e tirando partido da exposição de cerca de 30 meses decorrida desde o tratamento biocida, registam-se neste secção algumas notas relativas à eficácia de longo prazo dos biocidas, que podem eventualmente vir a apoiar a definição de recomendações de manutenção. Dado que a combinação entre os diferentes métodos de avaliação dos produtos permitiu constatar que as variantes ensaiadas no primeiro conjunto de testes (manga plástica, tempo de actuação, pré-lavagem) não trouxeram ganhos de eficácia e não compensavam os custos (ambientais e operacionais) acrescidos, optou-se por analisar mais detalhadamente os 6 balaústres que estiveram sujeitos às condições mais próximas de uma acção de controlo biológico em âmbito de intervenção.

- Balaústres 31-36: observação macroscópica

Na tabela abaixo estão organizados os 6 balaústres (com os respectivos números atribuídos no início dos ensaios) usados para comparação da actuação dos produtos biocidas, por fotografias e respectivas datas das suas capturas.

Análise comparativa do desempenho de álcool e óleos essenciais como soluções mais eco-compatíveis para a conservação de materiais pétreos.

























Datas	31	32	33	34	35	36
	Controlo	Preventol®RI80 3%	Biotersus® 2%	Biotersus® 3%	Biotersus® 5%	Álcool 70%
6 Dezembro 2019						
7 Janeiro 2020						
23 Novembro 2021						
5 Agosto 2022						

Tabela 7: Registo fotográfico da evolução da actuação dos diferentes biocidas nas respectivas datas na primeira série de testes.

Se se considerarem apenas as fotografias, pode-se afirmar que nenhum balaústre teve recolonização (visível), ainda que o balaústre 31 seja um balaústre de controlo - neste não foi aplicado qualquer produto, mas foi escovado (com água) aquando da escovagem dos restantes.

Pode-se pois dizer que, neste caso concreto do JBA, e nesta pedra que compõe a balaustrada do jardim, a limpeza por acção mecânica e água permite atenuar

substancialmente o enegrecimento provocado pela colonização biológica, sendo que a observação em Agosto de 2022 permitiu ainda constatar que existe alguma dificuldade na recolonização biológica, independentemente da solução de limpeza – sendo que no balaústre de controlo são já claros os indícios de recolonização.

O balaústre 35 e 36, Biotersus® a 5% e Álcool a 70%, respectivamente, são os que mostram melhores resultados.

• **Balaústres 31-36: Colorímetro**

		Antes do tratamento			Depois do tratamento		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
31 controlo	Escura	33,3378	1,9316	5,3892	57,3493	1,1068	7,0153
		40,5883	2,6966	8,8081	65,1357	8,3416	7,1849
		33,2782	4,1214	4,5875	59,9412	2,0564	7,6389
	Clara	65,7639	0,1606	10,8968	74,9546	2,7773	6,4443
		67,363	5,5799	17,7385	78,8329	3,4676	7,7731
		57,2797	2,7854	7,6969	79,7857	2,2648	10,2206
32 Preventol 3%	Escura	33,3378	1,9316	5,3892	76,3659	7,9844	6,2329
		40,5883	2,6966	8,8081	77,3274	7,8674	12,2216
		33,2782	4,1214	4,5875	71,3463	5,4117	9,5321
	Clara	65,7639	0,1606	10,8968	79,208	6,2162	11,3838
		67,363	5,5799	17,7385	75,4445	6,666	11,3443
		57,2797	2,7854	7,6969	84,2612	4,2619	7,3164
33 Biotersus 2%	Escura	33,3378	1,9316	5,3892	62,6128	2,2452	8,0492
		40,5883	2,6966	8,8081	60,0152	3,4436	5,9305
		33,2782	4,1214	4,5875	64,0946	3,5806	4,8099
	Clara	65,7639	0,1606	10,8968	79,925	2,0142	11,8736
		67,363	5,5799	17,7385	72,4382	2,7345	5,1921
		57,2797	2,7854	7,6969	79,3187	2,6042	5,9109
34 Biotersus 3%	Escura	33,3378	1,9316	5,3892	67,6924	0,5751	8,8402
		40,5883	2,6966	8,8081	64,5139	2,962	8,0378
		33,2782	4,1214	4,5875	60,8438	-4,8602	9,1835
	Clara	65,7639	0,1606	10,8968	81,4018	4,3157	7,5455
		67,363	5,5799	17,7385	80,7823	5,4525	6,8701
		57,2797	2,7854	7,6969	85,2726	2,3969	5,0801
35 Biotersus 5%	Escura	33,3378	1,9316	5,3892	69,1283	7,1499	14,964
		40,5883	2,6966	8,8081	66,3544	5,0141	10,7947
		33,2782	4,1214	4,5875	62,147	6,2433	10,5632
	Clara	65,7639	0,1606	10,8968	82,102	4,7978	8,8695
		67,363	5,5799	17,7385	80,3979	3,0819	9,4821
		57,2797	2,7854	7,6969	88,4713	3,1911	4,2177
36 Álcool 70%	Escura	33,3378	1,9316	5,3892	71,6315	8,3756	11,4067
		40,5883	2,6966	8,8081	68,5407	7,1509	10,8234
		33,2782	4,1214	4,5875	74,4349	6,5786	11,7591
	Clara	65,7639	0,1606	10,8968	81,0532	6,1025	9,5079
		67,363	5,5799	17,7385	74,6816	5,8255	10,527
		57,2797	2,7854	7,6969	87,3386	1,183	2,8303

Tabela 8: Valores CIELAB recolhidos com o colorímetro nos balaústres 31-36 e respectivas cores.

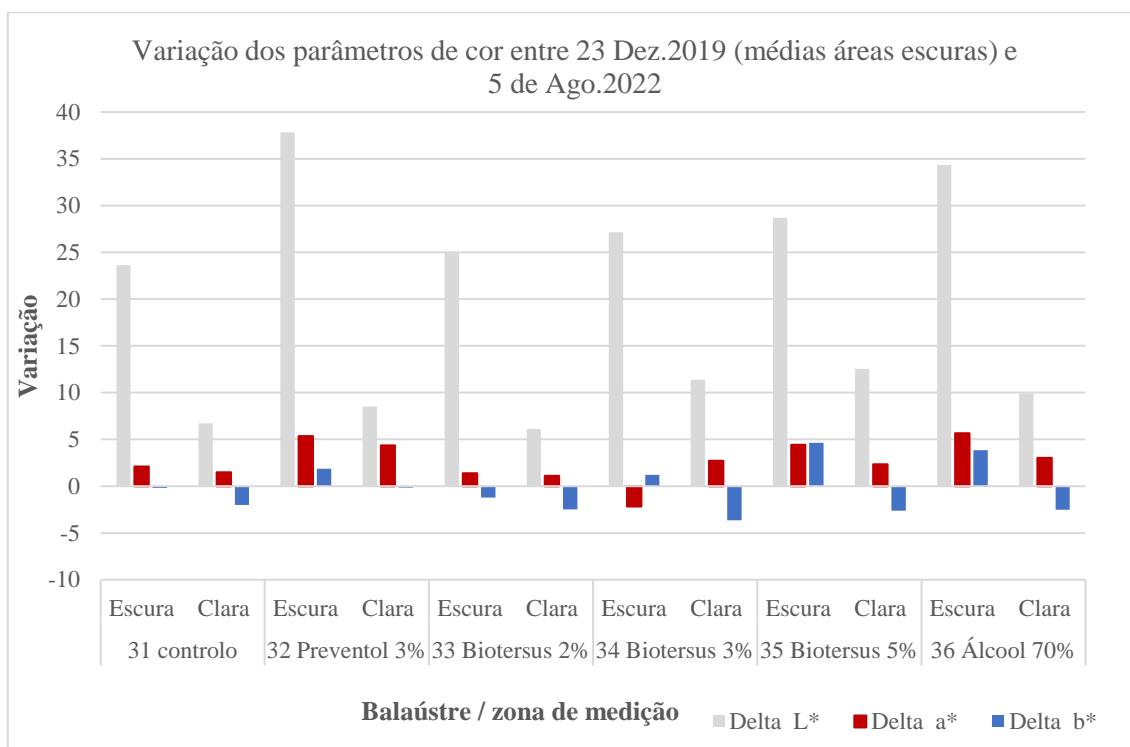


Gráfico 14: Variação dos parâmetros de cor entre Dez. 2019 e Ago.2022 relativamente aos valores da pedra não tratada: o álcool etílico apresenta resultados próximos dos obtidos com Preventol® RI80.

Quando observado o gráfico 14, ilustrativo da variação de cor entre Dezembro de 2019 e Agosto de 2022, constata-se o seguinte:

- O balaústre 32, em que foi aplicado Preventol®RI80 a 3%, é o que apresenta o valor mais alto para a variação do parâmetro que mede a luminosidade (L^*), representado pelas barras cinzentas – mas apenas na zona escura ($\Delta L^*_{32E} = 37,82$), sendo que nas áreas de colonização mais clara o valor mais alto de L^* foi registado no balaústre tratado com Biotersus® a 5% ($\Delta L^*_{35C} = 12,54$). Por outro lado, o álcool a 70% apresenta valores comparáveis aos do Preventol, quer para a zona escura ($\Delta L^*_{36E} = 34,35$), quer na zona clara ($\Delta L^*_{36C} = 9,91$ versus $\Delta L^*_{32C} = 8,52$);
- O valor de delta a^* deverá, desejavelmente, variar pouco e positivamente, dado que valores negativos indicam uma progressão para tons mais esverdeados. A maioria dos balaústres têm valores positivos de a^* , por isso mais vermelhos e menos verdes, excepção feita para pequenas variações negativas nos balaústres 31 e 33 e uma variação mais acentuada no balaústre 34 ($\Delta a^*_{34E} = -2,16$);

- Contrariamente ao valor de a^* , o b^* deverá progredir para valores negativos, o que indica o registo de cores mais frias (mais azuis e menos amarelas); quanto mais positivo estiver o valor de b^* , mais amarelo é detectado. Deste ponto de vista, o balaústre 35 (tratado com Biotersus a 5%) apresenta o pior resultado para o parâmetro b^* , embora apenas na zona clara, uma variação já perceptível para o olho humano ($\Delta b^*_{35E} = 4,65$);

É possível constatar ainda que a escovagem simples permite também obter bons resultados na remoção da colonização biológica – perceptíveis quer macroscopicamente, quer através da análise colorimétrica –, pelo que é interessante analisar mais detalhadamente a eficácia dos produtos biocidas comparativamente à escovagem apenas com água. No gráfico abaixo os valores dos balaústres tratados com biocida são comparados com os seus congéneres obtidos no balaústre 31.

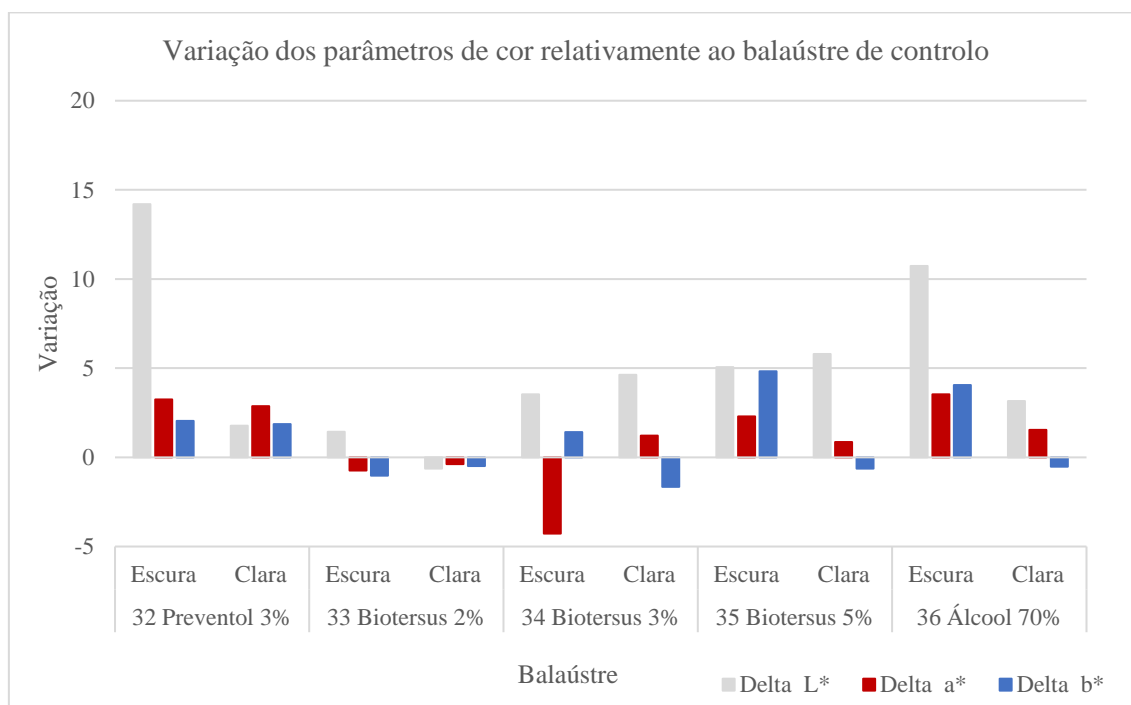


Gráfico 15: Variação dos parâmetros de cor relativamente ao balaústre de controlo (balaústre 31): as maiores variações ocorreram nos balaústres tratados com Preventol® RI80 e com álcool etílico.

Neste gráfico é possível perceber que:

- A zona escura do balaústre tratado com Preventol® é ainda a que apresenta o melhor resultado de L^* ($\Delta L^*_{32E} = 14,20$), seguido do balaústre tratado com álcool

($\Delta L^*_{36E} = 10,73$). No entanto, o álcool ($\Delta L^*_{36C} = 3,17$) supera o Preventol® ($\Delta L^*_{32C} = 1,78$) no tratamento das zonas mais claras;

- O balaústre em que a presença de biocida fez menos diferença foi, como expectável após observação macroscópica, o tratado com Biotersus® a 2%, uma concentração claramente insuficiente para haver um efeito notório;
- Contrariamente ao efeito visível à vista desarmada, o Biotersus® a 3% não surtiu grandes melhorias quando comparado ao balaústre apenas escovado – inclusivamente incrementando a variação indesejável do parâmetro a^* ; neste caso, o Biotersus® a 5% apresentou um melhor desempenho, pese embora a variação positiva do parâmetro b^* nas zonas escuras ($\Delta b^*_{35E} = 4,83$);
- Quando se analisam globalmente os três parâmetros de cor, o melhor desempenho será o do Preventol para as zonas escuras e o do Biotersus® a 5% para as zonas claras; o álcool a 70% parece conseguir um bom compromisso entre ambas as soluções.

É geralmente apontado o prazo máximo de 1 (um) ano para a eficácia de um biocida de sais de amónio quartenário; no entanto, é possível que existam algumas variações consoante intensidade dos biofilmes, exposição e a bioreceptividade da pedra.

No presente estudo, quase 3 anos passados desde os tratamentos biocidas, não é perceptível – nem visual bem colorimetricamente – a ocorrência de recolonização em nenhum dos balaústres tratados. Apenas os de controlo indicam uma colonização incipiente. Tal deve-se plausivelmente à já referida baixa bioreceptividade do Lioz, e permite apontar periodicidades de pelo menos 3 anos entre acções de manutenção, a conduzir, evidentemente, após limpeza das áreas ainda colonizadas da balaustrada. Pretende-se, em qualquer dos casos, realizar um acompanhamento durante os próximos dois anos para poder concluir sobre a eficácia dos biocidas num período mais alargado.

4.2 Segunda série de testes

A decisão de elaborar um novo protocolo, correspondente ao segundo conjunto de testes, foi tomada, em parte, pelos resultados obtidos relativamente à eficácia e sustentabilidade dos três produtos testados no primeiro conjunto de testes.

Mais uma vez, e respondendo ao tema principal do estudo - *Análise comparativa do desempenho de álcool e óleos essenciais como soluções mais eco-compatíveis para a conservação de materiais pétreos* – foi sustentada a decisão de abdicar do Preventol® RI80, uma vez que, apesar dos bons resultados deste biocida, comprovados ao longo de anos de aplicação, não é um biocida que reúna as características necessárias para que seja considerado um produto eco-compatível, sobretudo quando comparado com o Biotersus® e o etanol a 70%.

Na primeira série de ensaios, a constatação mais evidente foi a de que o Biotersus® a 5% (ainda que com a concentração errada) e o álcool a 70% obtiveram resultados não só muito satisfatórios, mas também comparáveis aos conseguidos com o biocida tradicional, o que levou à criação de novos ensaios para comparar apenas estes dois produtos. Tendo em conta a importância da eco-compatibilidade no ambiente em estudo, e dado que à toxicidade do Preventol® RI80 não se contrapunha qualquer relevante ganho em eficácia, a segunda série de ensaios destinou-se apenas ao aprofundar de questões relacionadas com os protocolos de aplicação dos produtos menos tóxicos e, desse ponto de vista, mais sustentáveis.

Relativamente ao Biotersus® e ao álcool a 70%, os protocolos testados na primeira série não despistaram a possibilidade de substituir a escovagem por uma segunda aplicação do produto, deixando a meteorologia actuar na progressiva remoção dos biofilmes. A escovagem obriga ao uso de água, pelo que se considerou pertinente, do ponto de vista da sustentabilidade, confirmar a efectiva necessidade de a realizar. Nesta óptica, realizaram-se duas aplicações do mesmo biocida nos balaústres, sendo que em um destes foram aplicados produtos diferentes: primeiro o álcool a 70%, e, em seguida, Biotersus a 10%. Se se tiver em conta o custo inferior do álcool etílico em relação ao Biotersus, a combinação dos dois produtos poderia proporcionar um orçamento mais económico.

Uma outra questão prendeu-se com o álcool e a sua rápida evaporação. Foi importante testar a acção do álcool face à sua volatilidade, de modo a avaliar a possibilidade de



















encurtar o tempo de actuação. Tendo em conta a volatilidade do álcool, que se estimou num máximo de 1 hora, mostrou-se relevante testar as hipóteses de 1 dia ou 1 semana de actuação (por oposição às 2 semanas habituais) serem suficientes.

4.2.1 Eficácia – Avaliação macroscópica

A observação macroscópica desta segunda série de testes seguiu a metodologia de avaliação usada na primeira série de testes, uma vez que os balaústres seleccionados se localizavam imediatamente a seguir ao último dos primeiros testes, assegurando que as características de colonização e exposição solar eram similares. Foram usadas, igualmente, as zonas claras e escuras como referência para recolha de dados colorimétricos.

Tal como na primeira série, o segundo conjunto de balaústres, identificado com letras, foi avaliado com uma classificação de 1 a 3, comparando-se o aspecto das superfícies anterior ao tratamento e 3 meses depois deste; ou seja, cada baláustre foi comparado com ele próprio, antes e depois do tratamento; foram comparados os balaústres que estiveram sujeitos ao mesmo protocolo mas com diferentes produtos; e foram comparados os balaústres sujeitos ao mesmo tratamento com o mesmo biocida.

Na tabela abaixo estão organizados os 9 balaústres identificados com letras usados para comparação da actuação de álcool a 70%, Biotersus a 10% e conjugação dos dois biocidas, por fotografias do antes e depois com as respectivas datas da captura. O gráfico subsequente mostra a eficácia total nos diferentes balaústres sujeitos ao tratamento com o Biotersus® a 10% e com o Álcool a 70%.

Data	A	B	C	D	F	G	H	I	K
4 Fevereiro 2022									
12 Fevereiro 2022									

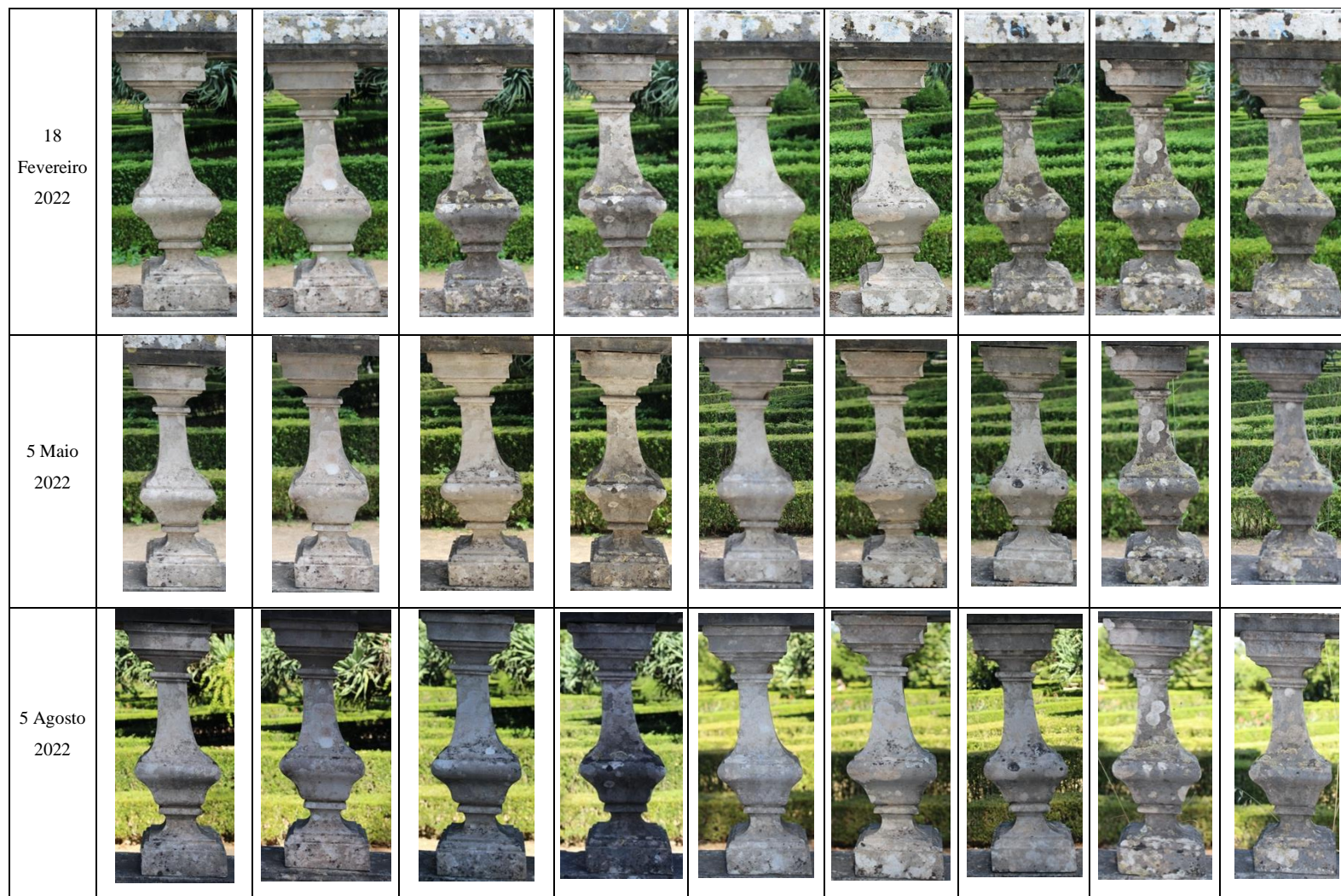


Tabela 9: Registo fotográfico da evolução da actuação dos diferentes biocidas nas respectivas datas da segunda série de testes.

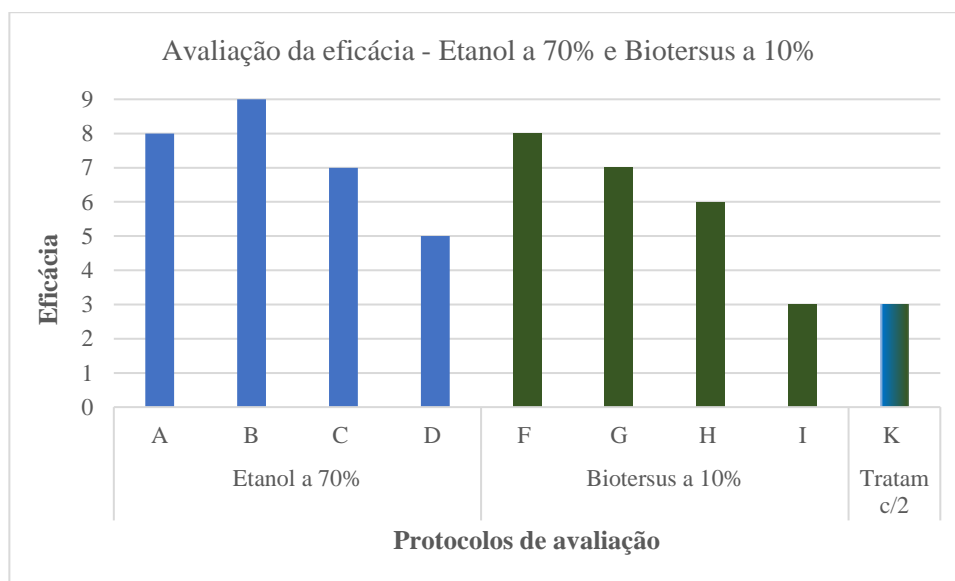


Gráfico 16: Avaliação da eficácia dos dois biocidas usados separadamente e em conjunto.

Os balaústres A, B e F apresentaram os melhores resultados, sendo que A e F - Álcool a 70% e Biotersus® a 10%, respectivamente - foram escovados no dia imediatamente a seguir à aplicação do biocida. Ou seja, ambos os biocidas mostraram ser eficazes; contudo, o etanol aplicado e escovado uma semana depois exibe os melhores resultados.

- **Tempo de actuação**

O protocolo definido para estes novos testes, com base nas constatações dos dados do primeiro conjunto de testes, teve também como prioridade perceber efectivamente quanto tempo de actuação o álcool a 70% e o Biotersus a 10% (com a diluição corrigida) precisavam para actuar e serem eficazes na eliminação da colonização biológica.

A avaliação macroscópica, neste caso, indica que o protocolo mais eficaz será o que foi aplicado no balaústre B – aplicação por aspersão de etanol a 70%, com escovagem após uma semana de actuação. Mas, observado o gráfico 16, é possível constatar que, à excepção dos balaústres que não foram escovados (D, I e K), os restantes tiveram resultados bastante positivos e com pouca variação entre eles, quer tenham sido tratados com etanol ou com a formulação de óleos essenciais.

Por outras palavras, à vista desarmada, o álcool a 70% (balaústres A, B, C e D) e o Biotersus® a 10% (balaústres F, G, H e I) apresentam resultados similares. Também são muito idênticas as imagens dos balaústres que foram escovados no dia a seguir à aplicação

de biocida e as imagens dos balaústres que foram escovados após uma semana da aplicação, quer para o ensaio com o álcool, quer para os óleos essenciais. Analogamente, não se registaram melhorias dignas de nota em relação aos que foram escovados duas semanas após a aplicação. Neste particular, os dados do colorímetro foram importantes para confirmar esta questão do tempo de actuação.





- *Necessidade de escovagem*

Foi aplicado o protocolo com a variante de não haver qualquer tipo de escovagem nos balaústres D, I e K – o D e o I foram tratados com etanol e Biotersus® respectivamente, enquanto que o baláustre K foi tratado com ambos os biocidas, aplicados separadamente com uma semana de intervalo. Estes três balaústres mostram, como ilustrado no gráfico acima, os piores resultados, concluindo-se que a escovagem é imprescindível em qualquer um dos casos. Ou seja, a hipótese de fazer uma segunda aplicação de biocida para evitar a escovagem não revelou bons resultados, como se pode observar nos registos fotográficos dos balaústres D (álcool), I (Biotersus) e K (ambos, em sequência).

Finalmente, comparando estes balaústres com os registos fotográficos dos seus homólogos usados na primeira série de testes, notou-se que a aplicação por aspersão confere resultados diferentes dos da aplicação por pincelagem: a evolução observada nas fotografias dos balaústres ensaiados por aspersão – e nomeadamente naqueles em que o produto foi deixado a actuar durante 2 semanas – não é tão evidente como dos balaústres em que os produtos foram aplicados, nos primeiros ensaios, por pincelagem.

4.2.2 Eficácia - Medições de cor

Na segunda série de testes, as alterações visíveis macroscopicamente foram, em alguns casos, bastante ténues e os valores registados com o colorímetro foram um importante apoio no averiguar de qual o melhor protocolo aplicado. Na tabela abaixo apresentam-se os valores das medições realizadas antes e após tratamento biocida.

	Antes do tratamento			Depois do tratamento				
	L*	a*	b*	L*	a*	b*		
A		37,0133	5,1034	9,6579		65,8215	5,6578	11,3452
		38,4529	3,8428	10,255		80,4843	3,7164	12,8816

		40,0461	3,6192	8,9728	67,8925	4,8565	11,7683
		67,6785	4,5769	6,0011	80,6264	3,5922	13,2573
		65,5173	4,1027	6,8125	81,5272	6,6648	11,0515
		62,4949	0,2009	13,6436	81,7166	5,0768	8,3193
B		32,7361	2,3001	4,1297	68,3147	2,9424	14,1948
		38,949	2,8038	5,9208	62,8946	14,3765	11,4221
		44,5452	1,171	11,1975	49,5669	8,4365	5,8649
		59,8351	8,9273	13,9837	69,8145	7,8926	14,0801
		50,2475	2,7302	11,847	86,1613	5,8185	9,1493
		61,4488	5,4563	10,074	80,7438	4,5478	10,8597
C		36,601	2,8309	9,1287	65,6313	4,5803	16,8306
		35,871	3,2454	8,8357	54,2872	-2,3317	3,2619
		35,6891	3,1317	8,8478	51,3246	4,3841	9,9023
		56,6864	3,288	7,8778	78,8919	4,2196	11,0427
		53,1567	1,1653	12,4923	82,8479	4,9446	8,3152
		55,9832	4,4635	11,0253	82,545	4,2583	9,9936
D		40,8127	3,0742	10,5291	45,8137	4,9149	9,5865
		40,9887	3,8159	8,7724	43,9367	1,3287	8,8943
		40,0587	2,8391	7,9957	45,1804	2,1787	9,1858
		59,3105	5,9843	11,5766	67,0816	6,8989	12,5881
		66,5628	3,0115	9,6632	66,525	5,8799	12,7873
		62,573	3,4792	9,6692	72,8941	3,3933	10,2749
F		38,231	2,1058	6,2987	72,4738	0,3233	4,6936
		42,4277	2,5729	9,4869	69,4653	3,431	1,6215
		47,4615	2,6725	9,4078	69,6135	1,9556	3,8696
		65,0782	-0,053	10,8658	85,467	2,7276	7,3766
		67,3504	0,5959	8,6954	82,4324	2,5654	10,1225
		65,2427	2,6825	12,5112	82,1481	3,2233	5,9968
G		37,0446	2,1164	7,4613	59,9783	14,0752	8,8417
		35,7646	4,4903	5,6523	62,637	8,6208	9,361
		42,2672	-1,5397	8,691	56,1739	0,4637	9,5631
		68,6934	3,2523	9,782	78,9408	7,6762	13,7285
		60,5168	5,6955	14,3629	79,1073	7,3273	13,4812
		65,7561	4,1815	14,1865	81,1813	5,8998	11,806
H		35,8238	3,3053	9,4905	53,7756	7,0911	12,9396
		36,5641	3,0757	9,7865	54,6558	9,362	11,5048
		38,2549	3,4255	10,7092	49,2738	1,8575	1,2795
		55,622	5,901	11,8695	77,8726	5,1482	10,8663
		59,214	6,7112	11,9395	79,3412	4,0311	9,8447
		59,8843	4,3842	10,6188	78,8629	4,8924	10,7309
I		40,3214	2,8052	5,6364	44,3682	4,1335	8,4591
		44,1707	3,5053	9,9643	47,0978	3,7442	8,0349
		43,455	4,0746	8,8433	44,0776	3,6691	12,613
		60,8009	2,1686	13,2018	67,6558	4,2887	12,3896
		77,5103	3,968	9,4361	78,4304	2,5173	11,4838
		63,2944	7,1484	8,613	73,5725	6,9592	10,3053
K		37,5093	1,8647	5,2985	54,7322	3,2164	7,3681
		40,7514	-0,7967	9,8329	46,9046	0,9677	11,1873

	43,4655	3,6943	8,3523		46,6835	3,7603	9,3263
	55,0803	1,4487	16,4882		59,485	6,8114	13,1651
	56,6122	1,4217	16,7136		53,8951	8,5433	14,2056
	55,9313	4,5514	11,9731		63,2432	8,0101	10,6065

Tabela 10: Valores recolhidos com o colorímetro no sistema CIEL*a*b e respectivas cores.

A representação gráfica das variações de cada parâmetro de cor permite clarificar as diferenças na actuação dos dois biocidas aplicados e respectivos protocolos.

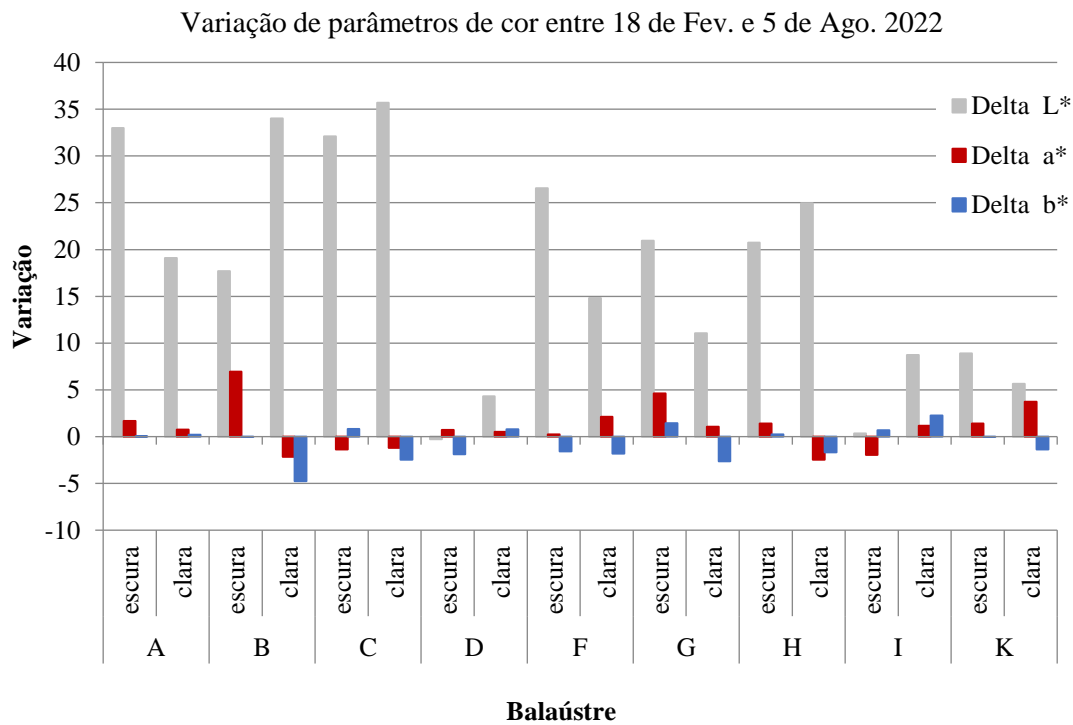


Gráfico 17: Variação dos parâmetros de cor nos balaústres da segunda série de ensaios.

Anota-se desde logo o facto de os valores dos balaústres (zonas claras e escuras) tratados com álcool e com Biotersus não serem tão idênticos como as imagens fotográficas pareciam sugerir.

Observando o gráfico acima, numa primeira análise, os balaústres em que foi aplicado álcool com escovagem – A, B e C – parecem ter os melhores resultados, uma vez que o parâmetro ΔL^* é mais elevado em relação aos balaústres tratados com a solução de óleos essenciais, indicando uma maior eficiência na remoção das pátinas biológicas com o álcool etílico. Ou seja, globalmente, os balaústres tratados com álcool apresentam melhores resultados do que os tratados com Biotersus, independentemente do tempo de actuação, mormente nos valores de ΔL^* .

Os valores de Δa^* e Δb^* estão muito equilibrados. A grande maioria dos balaústres, quer nas áreas claras, quer nas áreas escuras, apresenta valores de Δa^* positivos; contudo, existem alguns valores negativos, nos balaústres B, C, H e I, o que aproxima estas cores ao verde, o que não é o resultado desejado.

Os valores das variações do b^* são consistentemente negativos nos balaústres B, C e D; no entanto o balaústre A tem valores ligeiramente positivos. Nos balaústres onde foi aplicado o Biotersus[®] o fenómeno é similar; no entanto, os valores de Δb^* são mais positivos, e por isso menos bons, do que nos balaústres tratados com o álcool.

Analisando apenas os balaústres que foram escovados – A, B e C, tratados com álcool a 70% e F, G e H, tratados com o Biotersus[®] a 10% – verifica-se que, em todos eles, sem excepção, há uma variação positiva do ΔL^* , ou seja, todos os balaústres, nas suas áreas mais claras ou mais escuras, clarearam após a escovagem, independentemente do tempo de actuação do biocida. O Δa^* manteve-se geralmente positivo em todos eles, excepto para os balaústres B (zona escura), C, H (zona clara) e I (zona escura), podendo-se afirmar que os balaústres A, F e G, o primeiro tratado com álcool e com um dia de tempo de actuação; os últimos tratados com Biotersus e com 1 dia e uma semana de actuação, são os que apresentam as variações mais positivas do valor do delta a^* .

Quanto ao delta b^* , os balaústres A, C (zona escura), D (zona clara), G (zona escura) e o balaústre I apresentam valores tendencialmente positivos, i.e. tendencialmente mais amarelos, ainda que as variações tenham pouca expressão.

- *Tempo de actuação*

A análise dos balaústres A, B e C, ensaiados com álcool a 70%, mas com tempos de actuação diferentes (um dia, uma semana e duas semanas, respectivamente), parece portanto indicar que os balaústres que apresentam melhores resultados são os que tiveram um tempo de actuação de uma e duas semanas – embora as diferenças entre eles, tal como na observação macroscópica, não sejam muito expressivas. Analisando os balaústres tratados com Biotersus[®], os três balaústres F, G e H, sujeitos aos mesmos tempos de actuação que os balaústres A, B e C respectivamente, apresentam valores pouco discrepantes; no entanto, o balaústre F tem os valores mais positivos no caso do Δa^* , mais negativos no parâmetro b^* e os valores da luminosidade mais elevados, sendo por isso considerado o protocolo com Biotersus[®] de melhor desempenho.

- ***Necessidade de escovagem***

Na tentativa de perceber se uma segunda aplicação de biocida permitiria evitar uma escovagem, os balaústres D e I (álcool e óleos essenciais, respectivamente) mostram que esta medida não foi eficaz, confirmando que uma escovagem – limpeza mecânica com água – é essencial para a eficácia dos biocidas, pelo menos nos substratos pétreos aqui em análise.

Analogamente, o colorímetro confirma que os resultados protocolo aplicado no balaústre K, tal como se observa nas imagens da tabela 9, não são satisfatórios. A combinação do álcool e do óleo essencial não surtiu o efeito desejado, o que indica, do mesmo modo, a necessidade de efectuar uma escovagem.

4.2.3 Avaliação da sustentabilidade

Analogamente à avaliação que foi feita para a primeira série de testes foi igualmente feita para a segunda série e o resultado está registado no gráfico abaixo.

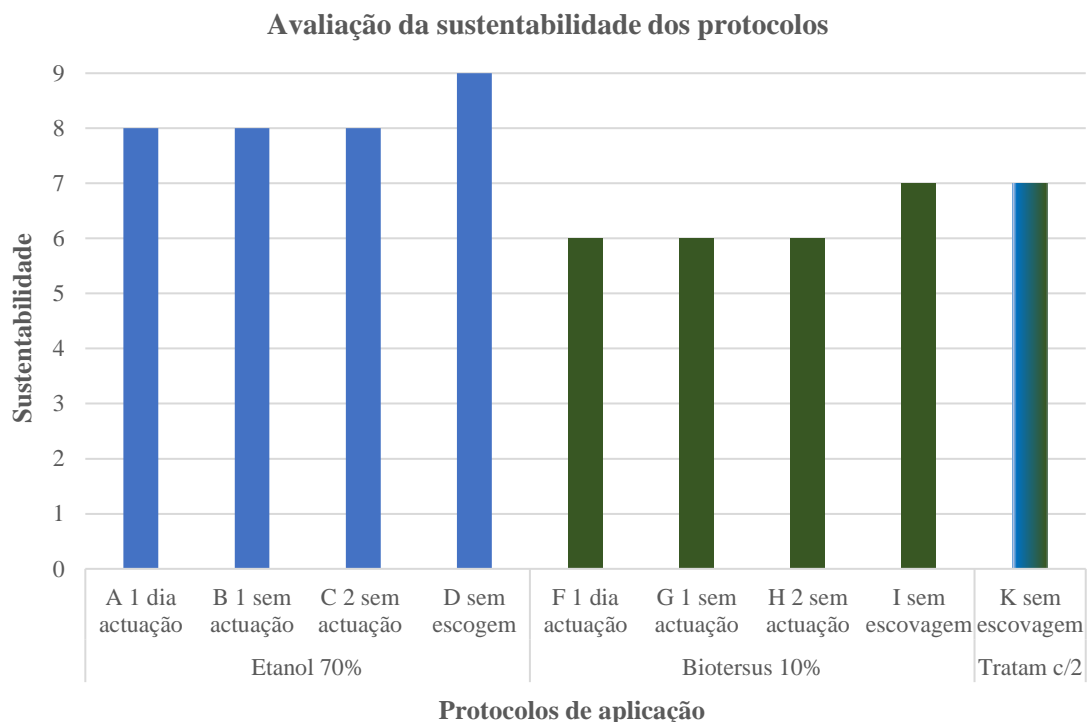


Gráfico 18: Avaliação da sustentabilidade dos protocolos da segunda série de testes.

Naturalmente, os valores de D são os mais elevados, porque este balaústre foi tratado com etanol que, em comparação com o óleo essencial, tem mais pontos neste parâmetro por

se tratar de uma solução menos tóxica, além do que não foi feita qualquer escovagem depois da aplicação; no entanto os resultados da eficácia não foram tão bons como se desejaria, tal como explanado na secção anterior.

Todos os balaústres tratados com etanol mostraram ser mais sustentáveis em comparação com o óleo essencial, apenas porque foi atribuído menos pontuação ao nível de toxicidade – quer ambiental, quer para a operadora ou operador – do Biotersus[®], já que no uso de recursos ambos os produtos foram sujeitos exactamente aos mesmos protocolos de aplicação.

4.3 Considerações adicionais

O segundo conjunto de testes foi determinante para aferir um protocolo mais realista. Desde logo, o facto de os produtos terem sido aplicados, no segundo ensaio, por aspersão, veio de encontro às necessidades reais na maioria dos contextos de obra. De facto, dificilmente se aplicaria um biocida a pincel numa fachada de um edifício, uma vez que o prazo para uma intervenção, normalmente limitado, é dos factores que mais influenciam as tomadas de decisão em relação aos trabalhos a realizar.

A análise dos dados obtidos pelo colorímetro e as fotografias captadas nas diferentes datas não podem ser dissociados, uma vez que o que se observa à vista desarmada nem sempre é suficiente para tirar conclusões sólidas.

Os resultados obtidos no primeiro conjunto de testes já levam mais de dois anos desde que se começou o estudo e, apesar das variantes do método de aplicação, o que se observou e registou ao fim deste tempo é bastante satisfatório.

O álcool a 70% e o Biotersus[®] a 10% são soluções eficazes que podem substituir um biocida convencional, contribuindo para intervenções mais verdes, mais eco-compatíveis com o ambiente, e menos tóxicas para a operadora ou operador.

O erro da diluição do Biotersus[®] foi corrigido na segunda série de testes; no entanto, este erro mostrou que as diluições feitas, 2%, 3% a 5% foram igualmente eficazes e com bons resultados passados dois anos da sua aplicação.

4.4 Recomendações para aplicação de etanol e Biotersus®

4.4.1 Tratamento de biofilmes no âmbito de uma intervenção de conservação e restauro

Para a aplicação de etanol a 70% ou do Biotersus® a 10% como tratamento da colonização biológica em pedras calcárias expostas no exterior, propõem-se as seguintes recomendações:

1. não há necessidade de a área a tratar ser previamente lavada;
2. a aplicação do produto deverá ser feita por pincelagem, se possível; no entanto se logisticamente for impossível, a aplicação poderá ser feita por aspersão, assegurando que o substrato fica bem saturado;
3. não é necessário cobrir a área tratada durante o período de actuação do biocida;
4. uma semana após a aplicação as superfícies devem ser lavadas com água e escovagem suave.

Após concluídos os tratamentos, poderá ser feita uma segunda aplicação do biocida seleccionado, desta vez sem lavagem, com efeitos preventivos.

4.4.2 Manutenção

Para efeitos de manutenção na sequência de um tratamento de conservação e restauro, em superfícies ainda não recolonizadas, recomenda-se que:

1. as superfícies sejam monitorizadas regularmente, para aferir a periodicidade necessária para os tratamentos preventivos;
2. a título indicativo, para uma superfície em Lioz em bom estado de conservação, a manutenção para efeitos de controlo de biofilmes deverá ser realizada a intervalos de 4 anos;
3. apenas será necessário fazer a aplicação do produto – por aspersão ou pincelagem – e deixá-lo actuar sem lavagem ou escovagem. Eventuais organismos que tenham iniciado uma recolonização serão removidos pela acção do vento e água das chuvas.

4.4.3 Ensaio de biocidas

Quando seja importante realizar o estudo de produtos biocidas, e com base nos protocolos ensaiados no âmbito do presente trabalho, propõem-se as seguintes recomendações:

1. definir claramente as metodologias de aplicação e avaliação tendo em conta os objectivos da análise;

2. fazer o registo fotográfico do suporte a tratar;
3. identificar as áreas a testar, procurando que haja alguma homogeneidade em termos de biofilmes presentes, exposição e morfologia das superfícies pétreas;
4. fazer um registo colorimétrico, com um mínimo de três registos por dominantes de cor nas áreas seleccionadas; caso a pedra não tenha, sob o biofilme, uma cor homogénea, verificar quantas medições são necessárias para a obtenção de resultados pouco dispersos;
5. aplicar os produtos de acordo com os protocolos a ensaiar (ou aplicar o protocolo descrito acima);
6. fazer novos registos colorimétricos e fotográficos, idealmente 1 mês após aplicação, passados 6 meses, e ao fim de um ano.

5. Conclusões

A colonização biológica presente nos monumentos é responsável por um conjunto de biodegradações. No entanto, a sua erradicação definitiva é impossível – os biofilmes existirão sempre que um qualquer substrato pétreo esteja sujeito a condições atmosféricas que propiciem a proliferação de organismos vivos.

Esta consideração é importante na medida em que a acção de remoção destas colonizações biológicas tem de ser tida em conta numa perspectiva temporária e não definitiva. Isto é, o controlo de colonizações biológicas terá um maior sucesso sempre que existam planos de manutenção criados para cada intervenção. Os programas de manutenção, que determinam como e quando actuar, são valiosos no sentido em que obrigam a uma atenção periódica ao objecto, de forma a evitar que este volte a sofrer colonizações severas com eventuais danos irreversíveis.

Um tratamento com biocida, seja qual for a sua base de formulação, tem um tempo de actuação que pode, em alguns casos, ser moroso, e esse tempo deve ser respeitado cumprindo escrupulosamente os protocolos de aplicação. Não obstante, há benefício – se para tal houver disponibilidade temporal – no realizar de testes pontuais para ajuste dos protocolos ao substrato e níveis de colonização presentes, procurando sempre soluções que, mantendo os níveis de eficácia e compatibilidade com as superfícies patrimoniais, se revelem mais sustentáveis, seja por inferiores níveis de toxicidade, seja por menor dispêndio de recursos planetários.

No presente trabalho foram explorados os desempenhos de dois biocidas considerados mais eco-compatíveis do que as soluções geralmente usadas na erradicação de biofilmes em materiais pétreos, tipicamente à base de sais de amónio quaternário.

A formulação à base de óleos essenciais – Biotersus[®] –, usada a 10%, e o etanol, usado a 70%, mostraram ter níveis de eficácia comparáveis aos de um biocida tradicional, com desempenhos bastante satisfatórios, que justificam o seu emprego em detrimento de soluções de sais de amónio quaternário, mais tóxicas para operadores e operadoras e para o meio ambiente. Estas duas soluções trazem vantagens no que diz respeito à sua sustentabilidade quando comparados com o biocida convencional e trazem ainda ganhos numa perspectiva da gestão dos trabalhos durante uma intervenção, uma vez que os resultados obtidos para ambos os produtos mostraram que é possível reduzir o tempo de actuação de duas semanas (tipicamente consideradas para os biocidas convencionais) para uma semana.

Concluiu-se, ainda, que a eficácia destes dois biocidas não depende de pré-lavagens nem de eventuais coberturas de isolamento do substrato da luz e da água.

A comparação dos biocidas seleccionados para o presente estudo permitiu concluir que o etanol a 70% constitui, do ponto de vista da eficácia e da sustentabilidade, a melhor solução para a eliminação de biofilmes em calcário de Lioz com valor patrimonial. Destaca-se o interesse deste resultado, porquanto muitas superfícies pétreas coexistem com ambientes sensíveis, como ocorre no caso de jardins históricos ou estruturas localizadas em ambientes na proximidade de cursos de água, o que muitas vezes impede a possibilidade de serem realizados tratamentos biocidas.

Com base no trabalho realizado, foi possível elaborar um conjunto de recomendações relativas à aplicação dos dois biocidas considerados mais sustentáveis, quer no que diz respeito a tratamentos desenvolvidos no contexto de uma intervenção de conservação e restauro, quer no que concerne acções de manutenção sobre superfícies já tratadas.

Em termos de aprendizagem, considera-se que foram cumpridos os objectivos parcelares propostos, e que, nesta óptica, a presente investigação permitiu desenvolver capacidades de planeamento de protocolos e metodologias de ensaio e avaliação de resultados no terreno, fundamentais para o desempenho profissional de uma conservadora-restauradora.

Finalmente, anota-se que a investigação realizada possibilita indicações relevantes para o controlo biocida em superfícies em Lioz, calcário usado nos monumentos históricos mais importantes da região de Lisboa. No entanto, a sua extrapolação para outros materiais líticos, com diferentes bioreceptividades, deve ter em atenção algumas questões, mormente as relacionadas com a eficácia (sendo que, como se disse, a compatibilidade de ambas as soluções com outros substratos carbonatados foi já testada e comprovada). Assim, em superfícies carbonatadas menos homogéneas e/ou com outras questões conservativas, é importante testar tempos de actuação e eventual repetição de aplicações; nesse sentido, ganham também relevância as recomendações propostas para o ensaio de biocidas.

Assinale-se, ainda, neste particular, o interesse e utilidade de ferramentas como o colorímetro usado neste estudo no trabalho *in loco*, que no caso de património edificado ganha uma importância acrescida e permite uma maior profundidade de análise de resultados nos seus reais contextos. O equipamento aqui usado, cujos resultados

estiveram em geral de acordo com as observações macroscópicas realizadas, e auxiliando as conclusões nos casos de variações muito subtis, poderá com benefício ser validado em investigações futuras, que contraponham as medições de cor a medições obtidas com recurso a outras ferramentas analíticas, e.g. análises microbiológicas.

6. Bibliografia

AAJBA, *Estatutos da Associação "Amigos do Jardim Botânico da Ajuda"*, [consultado a 02/10/2022 em https://www.isa.ulisboa.pt/files/jba/pub/estatutos_aajba.pdf]

AA.VV., 2006. *Mosteiro dos Jerónimos. A intervenção de conservação do claustro*. Cadernos. Lisboa: IPPAR.

AGA, 2016. Ficha Técnica: Etanol (álcool etílico)70% vol.

Ascaso, C., J. Wierzbos, V. Souza-Egipsya, A. de los Rosa e J. Delgado Rodrigues 2002. "In situ evaluation of the biodeteriorating action of microorganisms and the effects of biocides on carbonate rock of the Jeronimos Monastery (Lisbon)", *International Biodeterioration & Biodegradation* 49: 1-12.

Azambuja, S. 2017. "A arquitetura paisagista e a conservação e restauro do Jardim Botânico da Ajuda", *Pedra & Cal*, 63: 51-53.

Bartolini, M. e A.M. Pietrini. 2016. 'La disinfezione delle patine biologiche sui manufatti lapidei: biocidi chimici e naturali a confronto', *Bollettino ICR*, Nuova Serie, 33.

Bertuzzi, S., L. Gustavs, G. Pandolfini e M. Tretiach 2017. "Heat shock treatments for the control of lithobionts: A case study with epilithic green microalgae", *International Biodeterioration & Biodegradation*, 123: 236-243.

Caldeira, A.T. 2021. Green Mitigation Strategy for Cultural Heritage Using Bacterial Biocides. *Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage*, E. Joseph (Ed.). Springer: Cham, 137-154.

Canelas, L. 2022. "Limpar a janela manuelina do Convento de Cristo com uma escovinha e investir nele 5,4 milhões de euros" in *Público*, 18/07/2022.

CDC. 2008. Chemical Disinfectants: Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. Center for Disease Control and Prevention. [consultado a 02/10/2022 em <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/disinfection-methods/chemical.html#print>]

Charola, A., C. McNamara e R. Koestler. 2011. *Biocolonization of Stone: Control and Preventive Methods. Proceedings from the MCI Workshop Series*, Washington DC: Smithsonian Institution Scholarly Press.

Delgado Rodrigues, J. 2022. "The Portuguese Lioz stone: an overview on the deterioration problems and conservation perspectives", *Geoheritage*, 14, 23. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00657-0>

Delgado Rodrigues, J., M. Vale Anjos e A. E. Charola. 2011 "Recolonization of Marble Sculptures in a Garden Environment", *Biocolonization of Stone: Control and Preventive Methods Proceedings from the MCI Workshop Series*: 71 – 85.

Delgado Rodrigues, J. e J. Valero 2003. “A brief note on the elimination of dark stains of biological origin”, *Studies in Conservation*, 48 (1): 17-22.

Devreux, G., U. Santamaria, F. Morresi, A. Rodolfo, N. Barbabietola, F. Fratini e R. Reale. 2015. “Fitoconservazione. Trattamenti alternativi sulle opere in materiale lapideo nei Giardini Vaticani”. *XIII Congresso Nazionale IGHC - Lo Stato dell'Arte*, Turim, 199-206.

EN 15886. 2010. *Conservation of Cultural Property. Test Methods. Colour Measurement of Surfaces*. CEN: Bruxelas.

Ernfridsson, E. 2021. “Mikroorganism, konservering och förmedling av hållristningar vid Gäddtarmen”. [consultado a 02/10/2022 em https://www.academia.edu/51718366/G%C3%A4ddtarmen_Ernfridsson?auto=download].

Ernfridsson, E., B. Kristin e D. Nymberg. 2018. “Sjogerstad kyrka undersökningar i renputs: Rapport till Svenska kyrkan och Skultorps församling”, [consultado a 02/10/2022 em https://www.academia.edu/40455574/Rapport_Sjogerstad_kyrka].

Exentiae. 2019. *Biotersus* [consultado a 02/10/2022 em https://www.exentiae.it/wp-content/uploads/BIOTersus-04092019_def_FLYER-ITA_ENG.pdf].

Favero-Longo, S., M. Tabasso, F. Brigadeci, M. Capua, A. Morelli, P. Pastorello, M. Sohrabi, A. Chaverdi e P. Callieri 2022. “A first assessment of the biocidal efficacy of plant essential oils against lichens on stone cultural heritage, and the importance of evaluating suitable application protocols”, *Journal of Cultural Heritage*, 55: 68-77.

Fernandes, P. 2007. “A biotecnologia na conservação do património cultural”, *Revista Lusófona de Arquitectura e Educação*, 2: 119-126.

Fidanza, M. e G. Caneva 2019. “Natural biocides for the conservation of stone cultural heritage: a review”, *Journal of Cultural Heritage*, 38: 271-286.

Fierascu, I., R. Ion, M. Radu, S. Dima, I. Bunghez, S. Avramescu e R. Fierascu 2014. “Comparative study of antifungal effect of natural extracts and essential oils of *Ocimum basilicum* on selected artefacts”, *Revue Roumaine de Chimie*, 59 (3-4): 207-211.

Gómez de Saraiva, S., J. de la Paz Naranjo, P. Guiamet, P. Arenas e S. Borrego 2008. “Biocide activity of natural extracts against microorganisms affecting archives”, *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 7 (1): 25-29.

Gueidão, M., E. Vieira, R. Bordalo e P. Moreira. 2020. “Available green conservation methodologies for the cleaning of cultural heritage: an overview”, *Estudos de Conservação e Restauro*, 12: 22-44.

Guillitte, O. 1995. “Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies”, *The Science of the Total Environment*, 167: 215-220.

ICOMOS-IFLA. 1981. *Carta de Florença para a Salvaguarda de Jardins Históricos*. [consultado a 02/10/2022 em <https://icomos.pt/images/pdfs/2021/25%20Carta%20Floren%C3%A7a%20jardins%20hist%C3%B3ricos%20-%20ICOMOS%201981.pdf>].

ICOMOS Australia 1988. *Carta de Burra* [consultado a 02/10/2022 em https://www.patrimonio.go.cr/quienes_somos/legislacion/leyes_reglamentos/Carta%20de%20Burra.pdf]

Lanxess. 2011. Preventol ® RI 80 /RI 50 Product Information. [consultado a 02/10/2022 em https://shop-espana.ctseurope.com/documentacioncts/fichastecnicasweb2018/6.2productosbiocidas2016/Preventol%20RI%2050_tec.pdf]

Lazzarini, L. e M. L. Tabasso. 1986. *Il Restauro della Pietra*. CEDAM Padova

Lei n.º 107/2001. Lei de Bases do Património Cultural. Lei 107/2001 de 8 de Setembro. Diário da República I Série-A, n.º 209.

Martins, C. 2021. “Claustro dos Jerónimos lavado com álcool (e não é por causa da covid): veja o antes e o depois”, *Expresso*, 14/04/2021.

Mendonça, I. s/d. “O Real Jardim Botânico da Ajuda entre o Barroco e o Iluminismo” [consultado a 02/10/2022 em https://www.academia.edu/10477784/O_Real_Jardim_Bot%C3%A2nico_da_Ajuda_entre_o_Barroco_e_o_Iluminismo].

Miller, A.Z. 2010. “Primary bioreceptivity of limestones from the Mediterranean basin to phototrophic microorganisms”. Tese de doutoramento submetida à Universidade Nova de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10362/3961>

Miller, A., A. Dionísio e M. Macedo 2006. “Primary bioreceptivity: a comparative study of different Portuguese lithotypes”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 57: 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.01.003>

NCS Colour. 2017. *Colourpin SE: Technical Specification* [consultado a 02/10/2022 em https://ncscolour.com/wp-content/uploads/2017/11/Technical_specification_ColourpinSE.pdf].

ONU. 2015. *Transforming Our World. The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Nova Iorque: Organização das Nações Unidas (ONU). [consultado a 02/10/2022 em <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>]

Pozo-Antonio, J., C. Montojo, M. Lopez de Silanes, I. de Rosario e T. Rivas 2017. “*In situ* evaluation by colour spectrophotometry of cleaning and protective treatments in granitic Cultural Heritage”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 123: 251-261.

Sadgrove, N. e G. Jones 2015. “A contemporary introduction to essential oils: chemistry, bioactivity and prospects for Australian agriculture”, *Agriculture*, 5: 48-102.

Sánchez, R., M. Sameño e R. Baglioni 2003. “Tipología de materiales para tratamiento”, *Metodología de Diagnóstico y la Evaluación de Tratamientos para la Conservación de los Edificios Históricos*, Sevilla: Junta de Andalucía.

Sanmartín, P., A. Rodríguez e U. Aguiar 2020. “Medium-term field evaluation of several widely used cleaning-restoration techniques applied to algal biofilm formed on a granite-built historical monument”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 147: 1-8.

Sanz, M., M. Oujjaa, C. Ascaso, A. de los Ríos, S. Pérez-Ortega, V. Souza-Egipsy, J. Wierchos, M. Speranza, M. Vega Cañamares e M. Castillejo 2015. “Infrared and ultraviolet laser removal of crustose lichens on dolomite heritage stone”, *Applied Surface Science*, 346: 248-255.

Scheerer, S. 2008. “Microbial Biodeterioration of Outdoor Stone Monuments: Assessment Methods and Control Strategies”. Tese de doutoramento submetida à Universidade de Cardiff. <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/55804>

Sharmeen, J., F. Mahomoodally, G. Zengin e F. Maggi 2021. “Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals”, *Molecules*, 26.

Silva, M. 2017. “Novel Biocides for Cultural Heritage”. Tese de doutoramento submetida à Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/21001>.

Soares, A. (coord.) 2021. *O Arvoredo, os Jardins e Parques Públicos de Lisboa (1755-1965): Três Séculos de Património Botânico, Paisagístico e Cultural*, Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa.

Tabasso, M.L. e A. Morelli. 2019. *Comparative evaluation of the efficacy and potential side effects of four different biocides on lichens growing on stone monuments in Persepolis (Fars Province, Iran)*. Relatório independente realizado para os *Restauratori Senza Frontiere*.

Urquhart, D.C.M, M.E. Young, R.D. Wakefield, K. Tonge e K. Nicholson. 1996. ‘A Field Investigation of Algal Growths and Biocide Efficacy on Sandstone Buildings and Monuments’, *Journal of Architectural Conservation*, 2:1, 55-73

Vale Anjos, M. 2006. “A estatuária de pedra dos jardins do Palácio Nacional de Queluz: Formas de degradação, enquadramento, tratamentos e avaliação”. Tese de Mestrado submetida à Universidade de Évora. <http://hdl.handle.net/10174/16564>

Vergès-Belmin, V. 1996. Towards a definition of common evaluation criteria for the cleaning of porous building materials: a review. *Sci. Technol. Cult. Herit*, 5, 69-83.

Warscheid, T. e J. Braams 2000. “Biodeterioration of stone: a review”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46: 343

Anexos

Anexo 1: Registo fotográfico antes e depois das aplicações dos protocolos de ensaios.

Balaústre 1 (direita) ao 8 (esquerda)

Antes da aplicação – 23 Dezembro de 2019



Depois da aplicação – 5 Maio de 2022



Balaústre 9 (direita) ao 23 (esquerda)

Antes da aplicação – 23 Dezembro de 2019



Antes da aplicação – 23 Dezembro de 2019



Balaústre 24 (direita) ao 39 (esquerda)

Antes da aplicação – 23 Dezembro de 2019



Depois da aplicação – 5 Maio de 2022



Balaústre 40 (direita) ao 48 (esquerda)

Antes da aplicação – 23 Dezembro de 2019



Depois da aplicação – 5 Maio de 2022



Balaústre A (direita) a F (esquerda) (o Balaústre E foi excluído dos testes)

Antes da aplicação – 23 Dezembro de 2019



Depois da aplicação – 5 Maio de 2022



Balaústre G (direita) a K (esquerda) (o Balaústre J foi excluído dos testes)

Antes da aplicação – 23 Dezembro de 2019



Depois da aplicação – 5 Maio de 2022



Anexo 2: Valores parcelares da avaliação da eficácia de todos os biocidas e respectivos protocolos

		Eficácia		
	Protocolo	Comparação com os balaústres do mesmo conjunto	Comparação com os balaústres sujeitos ao mesmo biocida	Comparação antes e depois da aplicação do biocida
2 semanas	Com PL com Cobertura	1	2	1
	Com PL sem Cobertura	1	2	1
	Sem PL com Cobertura	1	3	2
	Sem PL sem Cobertura	2	3	3
4 semanas	Com PL com Cobertura	1	2	2
	Com PL sem Cobertura	1	2	1
	Sem PL com Cobertura	2	2	1
	Sem PL sem Cobertura	1	2	1
		Eficácia		
	Preventol RI80 a 3%	Comparação com os balaústres do mesmo conjunto	Comparação com os balaústres sujeitos ao mesmo biocida	Comparação antes e depois da aplicação do biocida
2 semanas	Com PL com Cobertura	3	1	3
	Com PL sem Cobertura	3	2	3
	Sem PL com Cobertura	2	2	3
	Sem PL sem Cobertura	2	3	2
4 semanas	Com PL com Cobertura	2	1	3
	Com PL sem Cobertura	3	2	3
	Sem PL com Cobertura	3	2	2
	Sem PL sem Cobertura	2	3	3
		Eficácia		
	Biotersus a 2%	Comparação com os balaústres do mesmo conjunto	Comparação com os balaústres sujeitos ao mesmo biocida	Comparação antes e depois da aplicação do biocida
2 semanas	Com PL com Cobertura	3	3	3
	Com PL sem Cobertura	1	1	2
	Sem PL com Cobertura	2	1	1
	Sem PL sem Cobertura	1	2	1
4 semanas	Com PL com Cobertura	3	3	3
	Com PL sem Cobertura	1	1	2
	Sem PL com Cobertura	1	1	2
	Sem PL sem Cobertura	2	2	3

		Eficácia		
	Biotersus a 3%	Comparação com os balaústres do mesmo conjunto	Comparação com os balaústres sujeitos ao mesmo biocida	Comparação antes e depois da aplicação do biocida
2 semanas	Com PL com Cobertura	3	2	3
	Com PL sem Cobertura	2	3	1
	Sem PL com Cobertura	3	1	2
	Sem PL sem Cobertura	2	3	2
4 semanas	Com PL com Cobertura	2	2	3
	Com PL sem Cobertura	2	2	2
	Sem PL com Cobertura	2	2	3
	Sem PL sem Cobertura	2	3	2

Biotersus a 5%		Eficácia		
	Biotersus a 5%	Comparação com os balaústres do mesmo conjunto	Comparação com os balaústres sujeitos ao mesmo biocida	Comparação antes e depois da aplicação do biocida
2 semanas	Com PL com Cobertura	3	2	3
	Com PL sem Cobertura	2	3	3
	Sem PL com Cobertura	2	1	2
	Sem PL sem Cobertura	3	3	2
4 semanas	Com PL com Cobertura	3	2	3
	Com PL sem Cobertura	2	2	2
	Sem PL com Cobertura	2	2	3
	Sem PL sem Cobertura	2	2	2

		Eficácia		
	Etanol a 70%	Comparação com os balaústres do mesmo conjunto	Comparação com os balaústres sujeitos ao mesmo biocida	Comparação antes e depois da aplicação do biocida
2 semanas	Com PL com Cobertura	3	2	2
	Com PL sem Cobertura	3	3	1
	Sem PL com Cobertura	3	1	2
	Sem PL sem Cobertura	2	3	3
4 semanas	Com PL com Cobertura	1	2	3
	Com PL sem Cobertura	2	3	2
	Sem PL com Cobertura	2	2	3
	Sem PL sem Cobertura	3	3	2

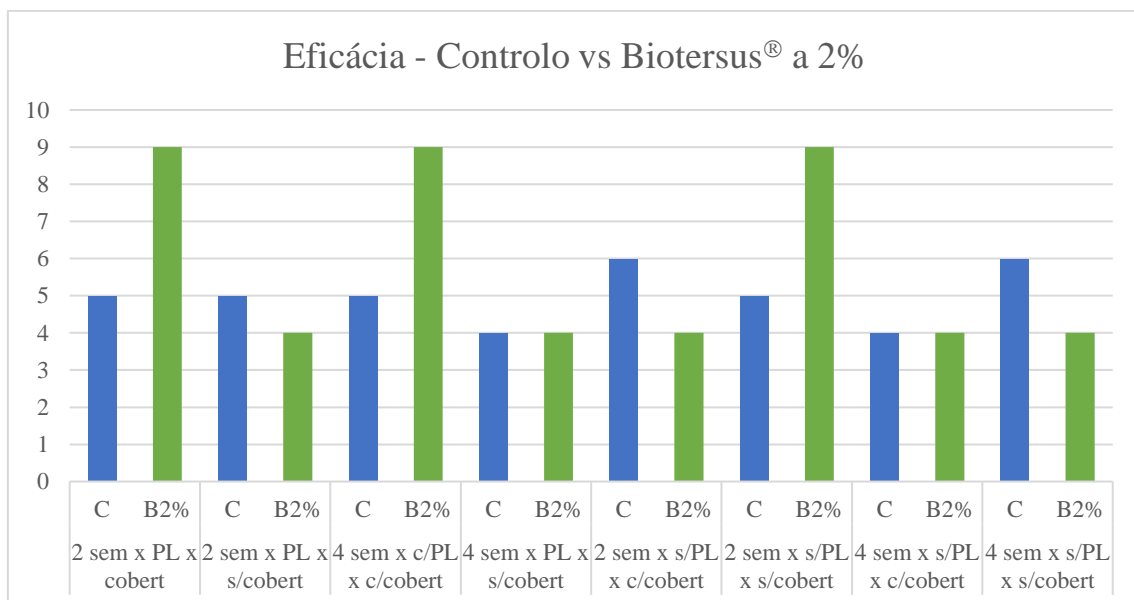
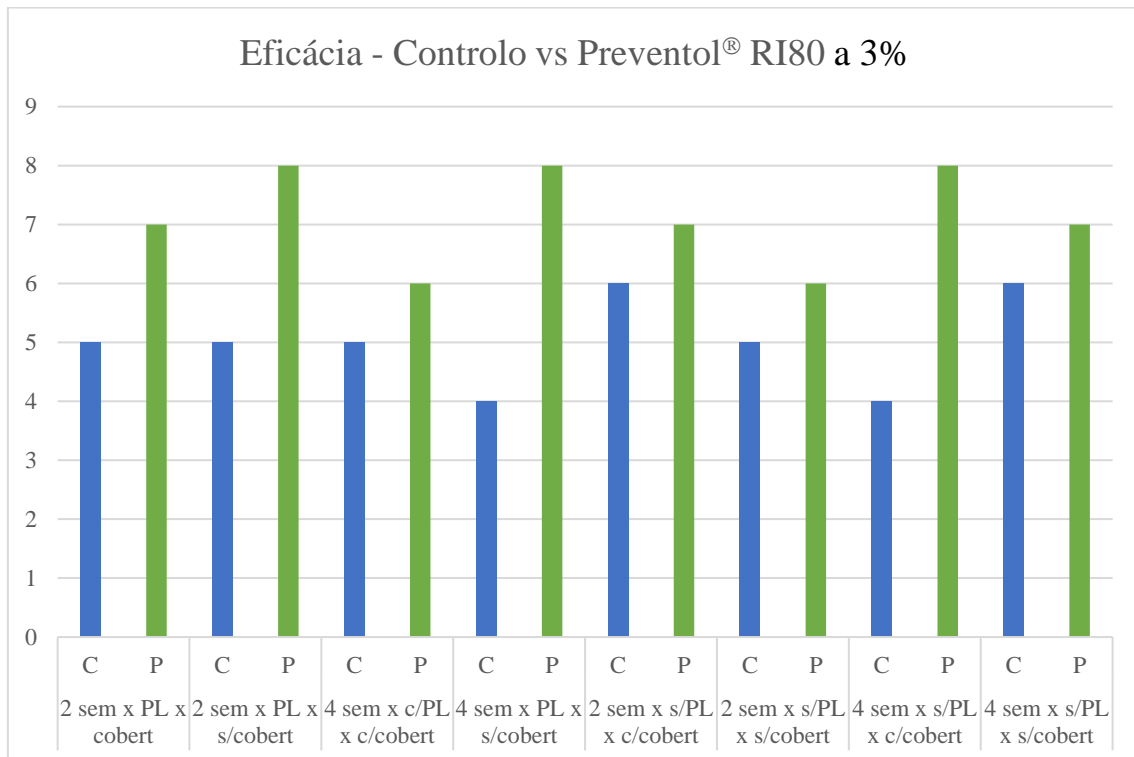
Anexo 3: Avaliação macroscópica da eficácia nos balaústres da primeira série de ensaios

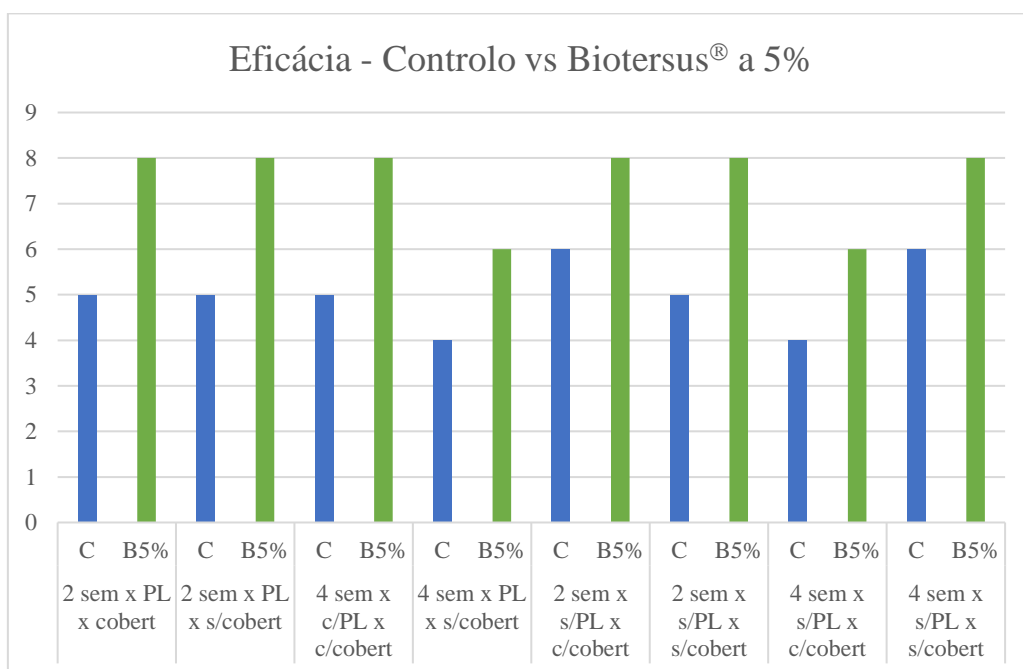
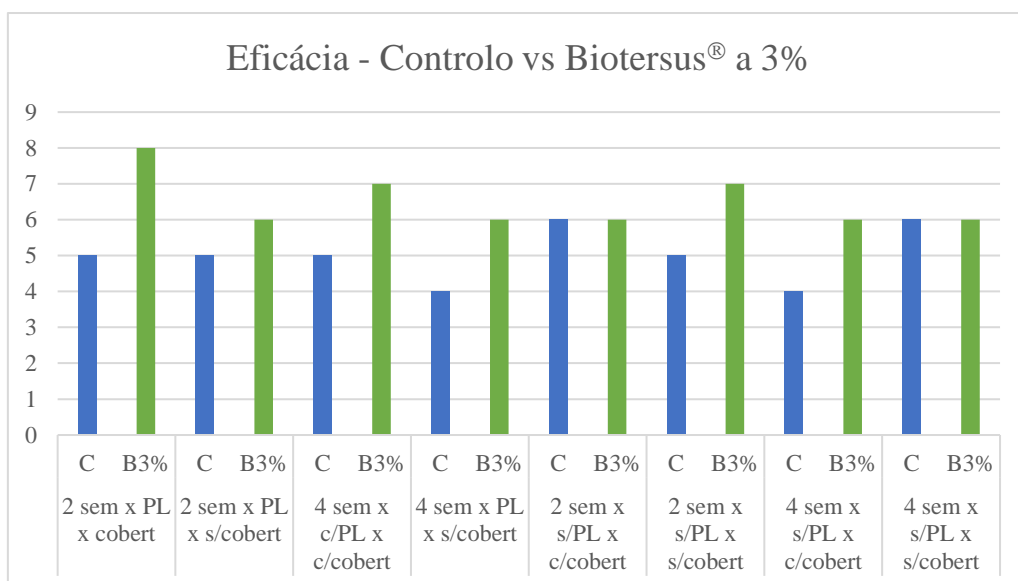
	Biocida	Eficácia
2 semanas com pré-lavagem com cobertura	Controlo	5
	Preventol® RI80 3%	7
	Biotersus® 2%	9
	Biotersus® 3%	8
	Biotersus® 5%	8
	Álcool a 70%	7
2 semanas com pré-lavagem sem cobertura	Controlo	5
	Preventol® RI80 3%	8
	Biotersus® 2%	4
	Biotersus® 3%	6
	Biotersus® 5%	8
	Álcool a 70%	7
4 semanas com pré-lavagem sem cobertura	Controlo	5
	Preventol® RI80 3%	6
	Biotersus® 2%	9
	Biotersus® 3%	7
	Biotersus® 5%	8
	Álcool a 70%	6
4 semanas com pré-lavagem sem cobertura	Controlo	4
	Preventol® RI80 3%	8
	Biotersus® 2%	4
	Biotersus® 3%	6
	Biotersus® 5%	6
	Álcool a 70%	7
2 semanas sem pré-lavagem com cobertura	Controlo	6
	Preventol® RI80 3%	7
	Biotersus® 2%	4
	Biotersus® 3%	6
	Biotersus® 5%	8
	Álcool a 70%	7
2 semanas sem pré-lavagem sem cobertura	Controlo	5
	Preventol® RI80 3%	6
	Biotersus® 2%	9
	Biotersus® 3%	7

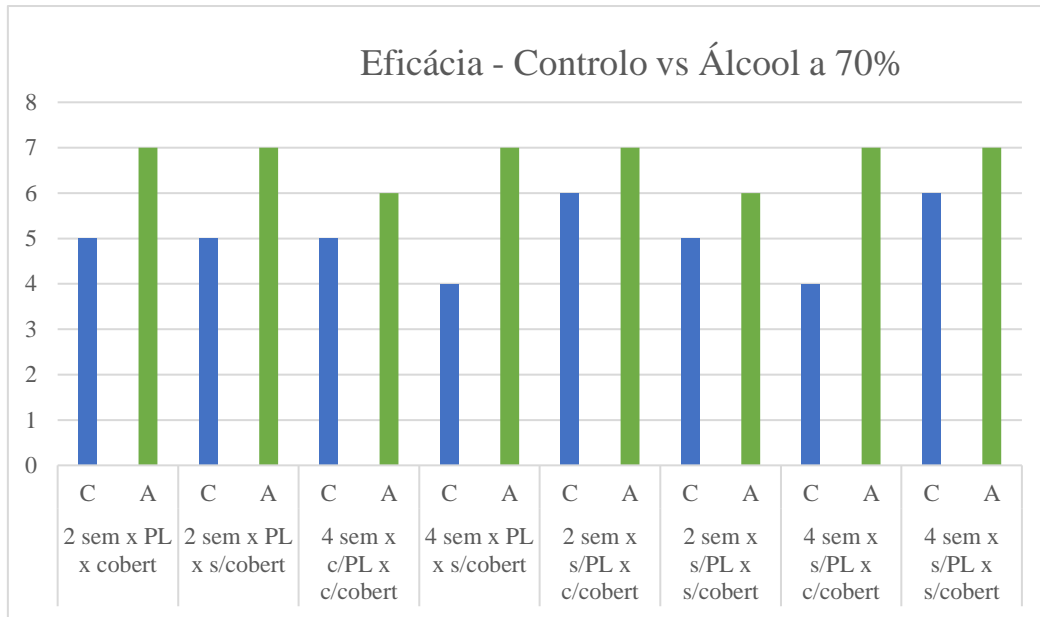
Análise comparativa do desempenho de álcool e óleos essenciais como soluções mais eco-compatíveis para a conservação de materiais pétreos

	Biotersus® 5%	8
	Álcool a 70%	6
<hr/>		
	Controlo	4
4 semanas sem pré-lavagem com cobertura	Preventol® RI80 3%	8
	Biotersus® 2%	4
	Biotersus® 3%	6
	Biotersus® 5%	6
	Álcool a 70%	7
<hr/>		
	Controlo	6
4 semanas sem pré-lavagem sem cobertura	Preventol® RI80 3%	7
	Biotersus® 2%	4
	Biotersus® 3%	6
	Biotersus® 5%	8
	Álcool a 70%	7

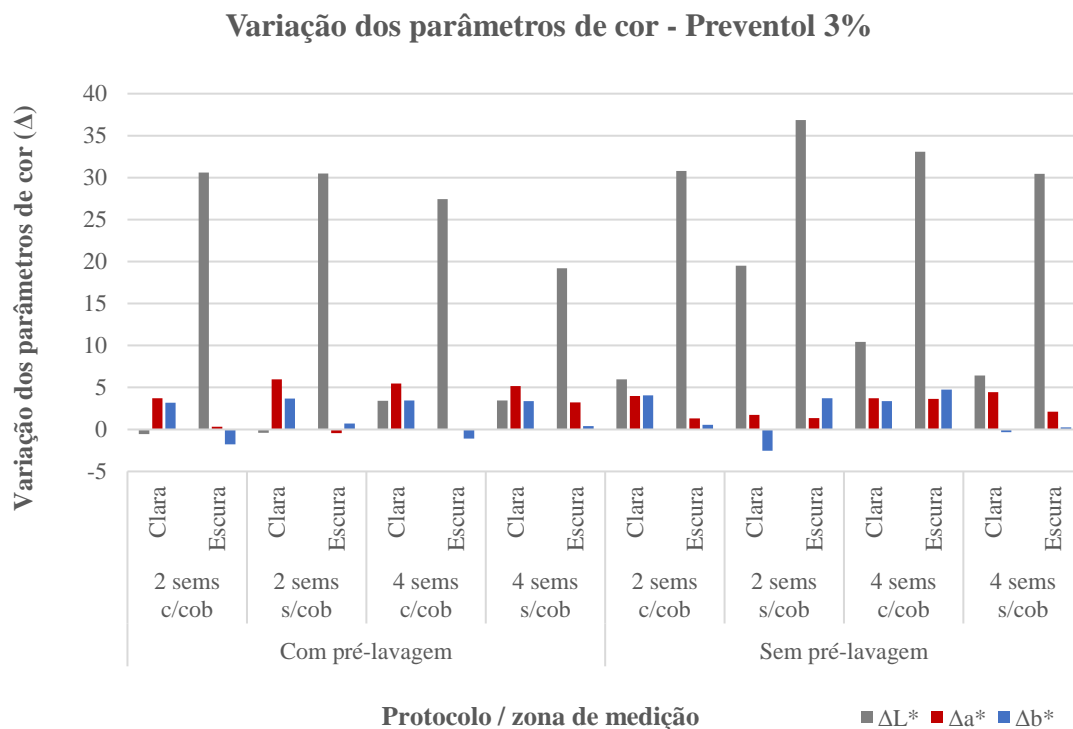
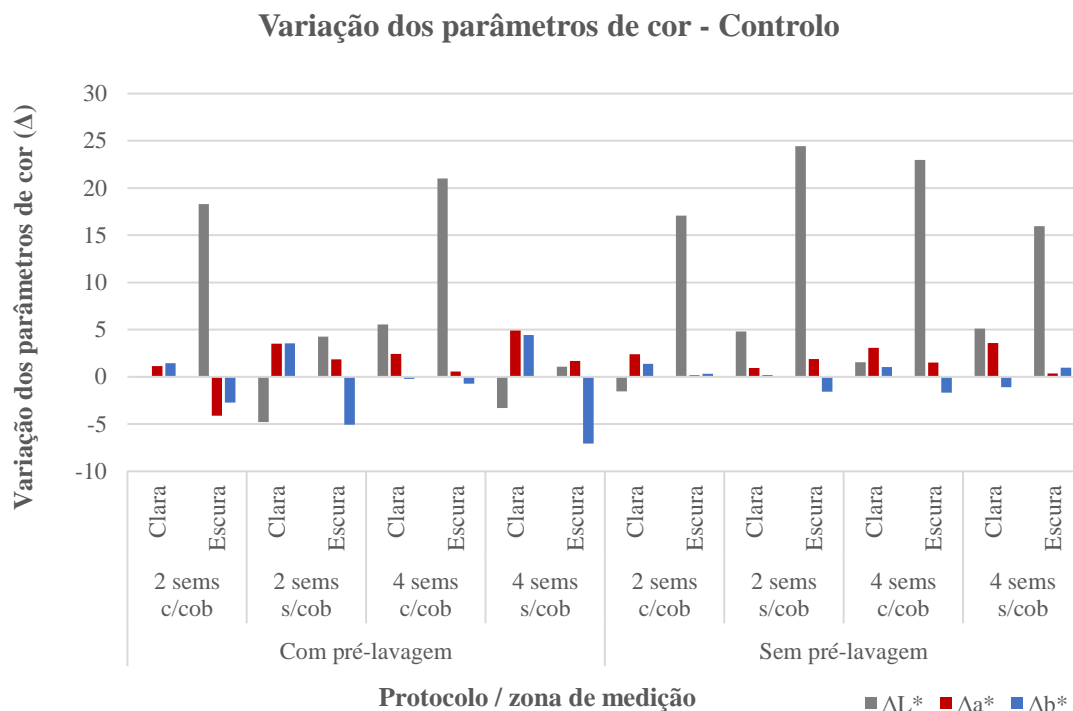
Anexo 4: Eficácia macroscópica do biocida relativamente aos balaústres de controlo



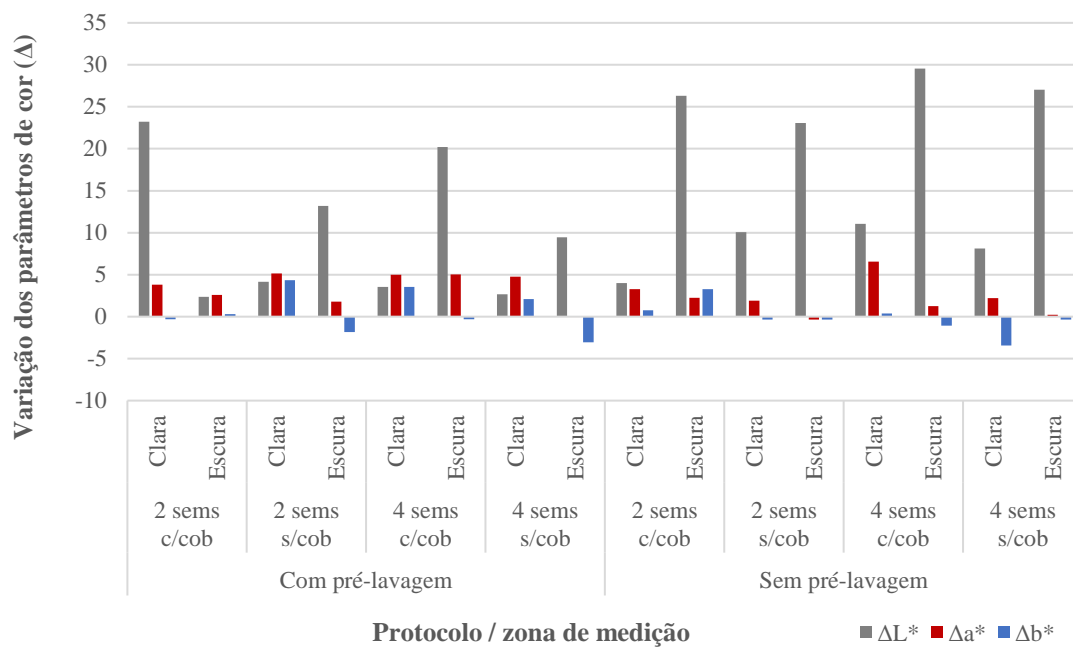




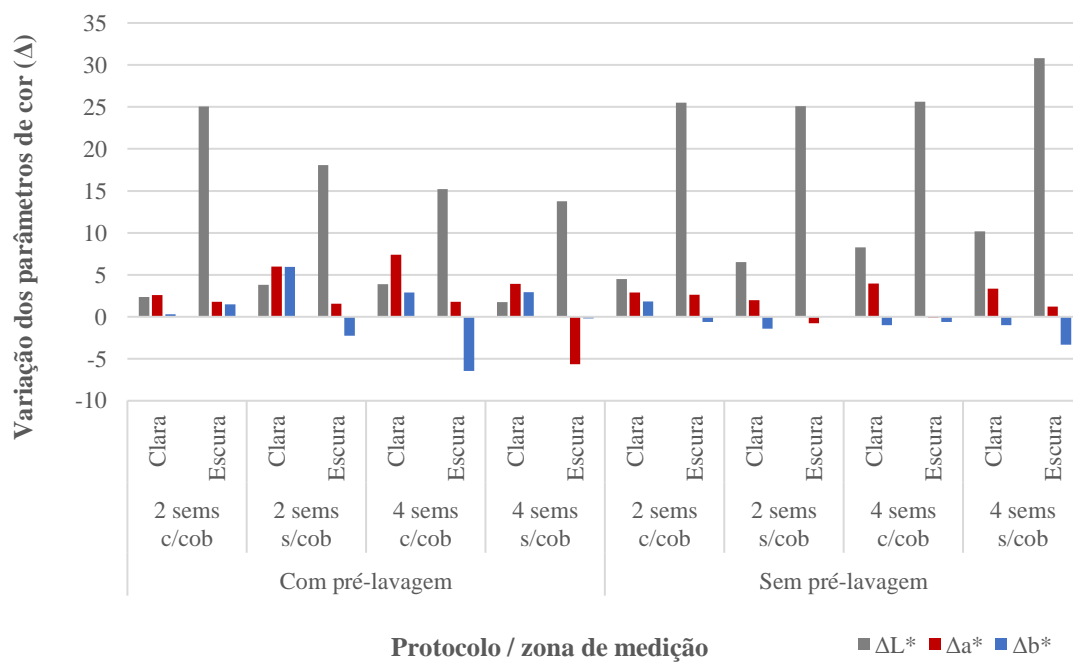
Anexo 5: Variação dos parâmetros de cor por biocidade acordo com a realização ou não de pré-lavagem



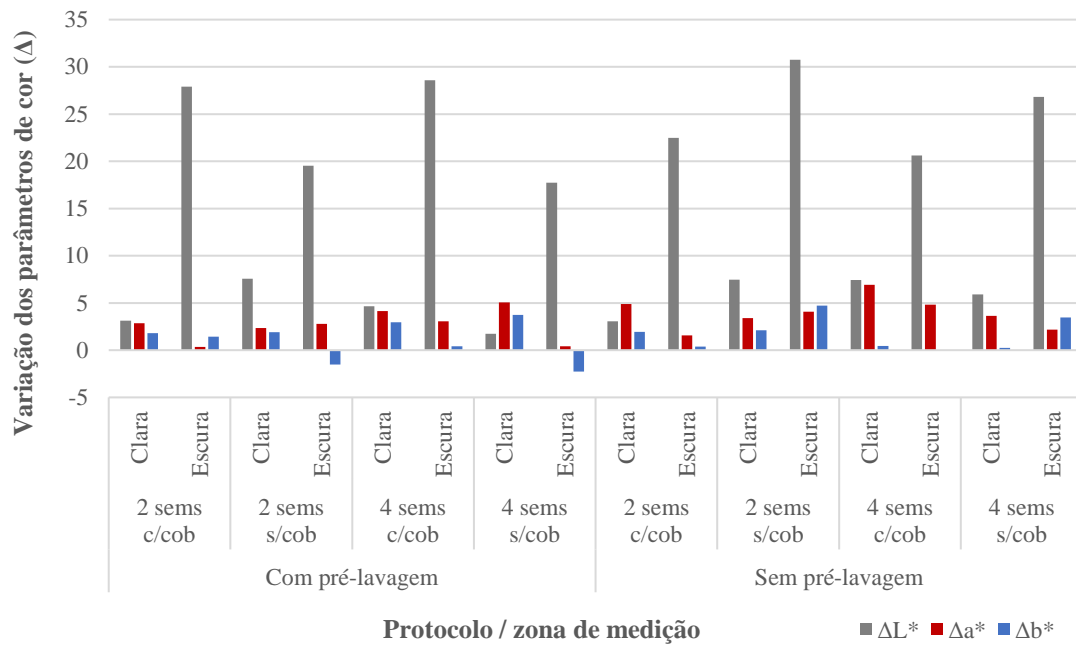
Variação dos parâmetros de cor - Biotersus 2%



Variação dos parâmetros de cor - Biotersus 3%



Variação dos parâmetros de cor - Biotersus 5%



Variação dos parâmetros de cor - Etanol 70%

