



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**



**SEBASTIÃO DOMINGOS GOMES FILHO**

**PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SEIS  
ESQUEMAS DE PINTURA APLICADOS NA SUPERFÍCIE INTERNA  
DA ESTRUTURA DE DESCARGA DO SISTEMA DE ÁGUA DE  
CIRCULAÇÃO DA USINA NUCLEAR ANGRA I**

**VOLTA REDONDA**

**2024**

**SEBASTIÃO DOMINGOS GOMES FILHO**

**PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SEIS  
ESQUEMAS DE PINTURA APLICADOS NA SUPERFÍCIE INTERNA  
DA ESTRUTURA DE DESCARGA DO SISTEMA DE ÁGUA DE  
CIRCULAÇÃO DA USINA NUCLEAR ANGRA I**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais e linha de pesquisa em materiais.

Orientadora: Prof. Dra. Cirlene F. Bandeira

Coorientadores: Prof. Dr. Ricardo Coutinho

Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

VOLTA REDONDA

2024

## FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

G633d Gomes Filho, Sebastião Domingos

Protocolo para avaliação do desempenho de seis esquemas de pintura aplicados na superfície interna da estrutura de descarga do sistema de água de circulação da usina nuclear de Angra. / Sebastião Domingos Gomes Filho. - Volta Redonda: UniFOA, 2024. 130 p. II

Orientadora: Prof. Dr.<sup>a</sup> Cirlene Fourquet Bandeira

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Coutinho

Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2024

1. Materiais - dissertação. 2. Bioincrustação. 3. Concreto armado. 4. Tensão de aderência. I. Bandeira, Cirlene Fourquet. II. Coutinho, Ricardo. III. Gambarato, Bruno Chaboli. IV. Centro Universitário de Volta Redonda. IV. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



SEBASTIÃO DOMINGOS GOMES FILHO

PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SEIS ESQUEMAS DE PINTURA  
APLICADOS NA SUPERFÍCIE INTERNA DA ESTRUTURA DE DESCARGA DO SISTEMA DE ÁGUA  
DE CIRCULAÇÃO DA USINA NUCLEAR DE ANGRA I

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirlene Fourquet Bandeira

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE  
"MESTRE EM MATERIAIS"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM MATERIAIS

*Roberto de Oliveira Magnago*

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago  
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

*Cirlene Fourquet Bandeira*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirlene Fourquet Bandeira  
Presidente / UniFOA

*Ana Carolina Callegario Pereira*

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Carolina Callegario Pereira  
Examinador interno / UniFOA

*André Marques dos Santos*

Prof. Dr. André Marques dos Santos  
Examinador externo / UFRRJ

Novembro de 2024.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Jandira Pedro (*in memoriam*), que me ensinou o valor da educação na formação do caráter.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao engenheiro Abelardo da Cruz Vieira, superintendente da usina nuclear Angra 1 pela autorização da pesquisa e pelo apoio no seu desenvolvimento;

Ao professor Ricardo Coutinho por acreditar no meu trabalho e pela oportunidade da primeira apresentação do trabalho que aconteceu no XIII Encontro de Bioincrustação, Ecologia Bêntica e Biotecnologia Marinha – XIII BIOINC;

Ao professor Bruno Chaboli Gambarato por encorajar o desenvolvimento da pesquisa diante de obstáculos que se apresentavam;

Ao professor Roberto de Oliveira Magnago pelo apoio na continuidade da pesquisa até a sua conclusão e pela capacidade de entender as dificuldades dos alunos na condução do aprendizado frente aos compromissos profissionais;

À profesora Cirlene Fourquet Bandeira por aceitar o convite para orientar este trabalho, contribuindo com o seu consolidado conhecimento da área de materiais e com a sua experiência na orientação de trabalhos científicos;

Ao amigo Antonio Marques Mesquita pelo apoio incondicional na execução das atividades da pesquisa.

## EPÍGRAFE

“Acreditar na sua capacidade de vencer os obstáculos oferecidos por aqueles que se julgam donos da verdade e do destino alheio melhora a situação para as próximas vítimas da opressão sistemática” (GOMES FILHO, S D).

GOMES FILHO, S. D. **Protocolo para avaliação do desempenho de seis esquemas de pintura aplicados na superfície interna da estrutura de descarga do sistema de água de circulação da usina Angra I.** 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2024.

## RESUMO

A exposição das galerias e túnel de concreto armado de descarga do Sistema de Água de Circulação (SAC) da usina Angra I aos agentes presentes no ambiente marinho durante o processo de geração de energia elétrica, pode provocar anomalias tanto no concreto quanto na armadura de aço, além do crescimento de bioincrustação sobre a estrutura. Para avaliar a ocorrência dessas anomalias, são executadas inspeções periódicas que possibilitam a detecção prematura de manifestações patológicas, precursoras de degradações da estrutura. Para possibilitar essas inspeções da estrutura de descarga do SAC, foi removida a bioincrustação em cinco quadros de 3 x 3 m nas galerias e um quadro de 3 x 3 m no túnel. Além de remover a bioincrustação, foram aplicados seis esquemas de pintura dos fornecedores MC-BAUCHEMIE, SIKA, QUIMATIC TAPMATIC e AKZO NOBEL nos seis quadros, com o objetivo de testar o desempenho desses esquemas de pintura mediante inspeção visual da estrutura de concreto armado, monitoramento do crescimento da bioincrustação e inspeção e ensaios dos esquemas de pintura. Quanto aos resultados, foi detectado que o crescimento da bioincrustação nas galerias se desenvolve num ritmo lento que não impede a inspeção, mas no túnel, que foi construído com o mesmo material e na mesma época das galerias, o crescimento da bioincrustação se desenvolve num ritmo muito acelerado e continua impedindo a inspeção dessa estrutura; foi verificado que, diferente dos outros esquemas de pintura que apresentaram delaminação, mudança de cor ou formação de bolhas que impediu a execução do ensaio de aderência a tração, o esquema de pintura Plasteel azul, do fornecedor QUIMATIC TAPMATIC, apresentou o melhor desempenho. Sugere-se, ao final, o desenvolvimento de aditivo biocida para os esquemas de pintura testados, com o objetivo de inibir ou eliminar o crescimento da bioincrustação no túnel.

**Palavras-chave:** Bioincrustação; Concreto armado; Esquemas de pintura.

GOMES FILHO, S. D. **Protocol for evaluating the performance of six painting schemes applied to the internal surface of the discharge structure of the circulation water system of the Angra I plant. 2024.** Dissertation (Professional Master's Degree in Materials) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2024.

### ***ABSTRACT***

The exposure of the reinforced concrete galleries and tunnel for the discharge of the Circulating Water System (SAC) of the Angra I plant to agents present in the marine environment during the electricity generation process can cause anomalies in both the concrete and the steel reinforcement, in addition to the growth of biofouling on the structure. To assess the occurrence of these anomalies, periodic inspections are performed to enable early detection of pathological manifestations, precursors of structural degradation. To enable these inspections of the SAC discharge structure, biofouling was removed from five 3 x 3 m frames in the galleries and one 3 x 3 m frame in the tunnel. In addition to removing the biofouling, six paint schemes from suppliers MC-BAUCHEMIE, SIKA, QUIMATIC TAPMATIC and AKZO NOBEL were applied to the six frames, with the aim of testing the performance of these paint schemes by visually inspecting the reinforced concrete structure, monitoring the growth of the biofouling and inspecting and testing the paint schemes. As for the results, it was detected that the growth of the biofouling in the galleries develops at a slow pace that does not impede the inspection, but in the tunnel, which was built with the same material and at the same time as the galleries, the growth of the biofouling develops at a very fast pace and continues to impede the inspection of this structure; it was verified that, unlike the other paint schemes that presented delamination, color change or formation of bubbles that prevented the execution of the adhesion test - traction, the blue Plasteel paint scheme, from the supplier QUIMATIC TAPMATIC, presented the best performance. Finally, it is suggested that a biocidal additive be developed for the tested painting schemes, with the aim of inhibiting or eliminating the growth of biofouling in the tunnel.

**Keywords:** Biofouling; Reinforced concrete; Painting schemes.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Processo de geração de energia elétrica na usina de Angra I .....	21
<b>Figura 2.</b> Galerias e túneis de admissão (praia de Itaorna) e descarga (saco Piraquara de fora) do SAC da usina de Angra I destacado em vermelho .....	22
<b>Figura 3.</b> Galerias G1 e G2 e túnel de descarga da água do mar após troca de calor indireta com o vapor que aciona o turbogerador. ....	22
<b>Figura 4.</b> Bioincrustação sobre a superfície interna das galerias e do túnel, respectivamente .....	22
<b>Figura 5.</b> Processo de geração de energia elétrica com a representação da descarga da água do mar no saco Piraquara de Fora na usina de Angra I tipo PWR. ....	29
<b>Figura 6.</b> Ocorrência da craca <i>Megabalanus coccopoma</i> na baía da Ilha grande. ...	30
<b>Figura 7.</b> Ocorrência do vermetídeo <i>Petalconchus varians</i> na baía da Ilha Grande. ....	31
<b>Figura 8.</b> Estrutura de concreto comum e armado com os esforços de compressão e tração e as fissuras por onde ingressam agentes ambientais.....	32
<b>Figura 9.</b> Esquemas dos tipos de falha de aderência.....	34
<b>Figura 10.</b> Bocal de visita de acesso ao flange na cobertura do túnel (primeira etapa do acesso) e flange de acesso ao túnel de descarga do SAC (segunda etapa do acesso).....	38
<b>Figura 11.</b> Acesso do inspetor ao ambiente das galerias e túnel de descarga do SAC mediante utilização de sistema de talhas onde o inspetor desce içado pelo cinto de segurança.....	38
<b>Figura 12.</b> Inspeção de reconhecimento do ambiente da estrutura de descarga do SAC da usina de Angra I.....	39
<b>Figura 13.</b> Bioincrustação predominante nas galerias e no túnel de descarga do SAC, respectivamente .....	40
<b>Figura 14.</b> Remoção da bioincrustação nas galerias e túnel mediante utilização da hidrojateamento a 27.000 psi .....	40
<b>Figura 15.</b> Área dos quadros de 3 x 3 m onde foi removida a bioincrustação nas galerias e túnel de descarga do SAC .....	41
<b>Figura 16.</b> Esquemas de pintura EP1Q1G1, EP2Q2G1, EP3Q2G1, EP4Q3G2, EP5Q4G2, EP6Q5G2 e EP6T, na superfície interna das Galerias e Túnel do SAC onde o identificador de cada esquema de pintura é composto das letras e números EP1 a EP6 (Esquemas de Pintura),.....	43
<b>Figura 17.</b> Câmera fotográfica NIKON semiprofissional acoplada a uma Frame de aço inox metálico 20 x 20 cm (400 cm <sup>2</sup> ) para execução. ....	46
<b>Figura 18.</b> Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede das Galerias ou Túnel .....	52
<b>Figura 19.</b> Amostra da bioincrustação utilizada pelo LMA para a execução da classificação .....	55
<b>Figura 20 -</b> Gráfico mostrando a predominância da craca da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> (curva tracejada) na área das galerias e do vermetídeo da espécie <i>Petalconchus varians</i> (curva contínua) na área do túnel.....	56

<b>Figura 21.</b> Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria G1 na região do Quadro Q1. ....	58
<b>Figura 22.</b> Registro fotográfico da comparação da Visualização do Quadro Q1G1 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo Quadro Q1G1 em novembro de 2023 .....	59
<b>Figura 23.</b> Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G1 com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q1G1 .....	60
<b>Figura 24.</b> Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado da paredes da Galeria G1 e da patologia do esquema de pintura EP1Q1G1 aplicado no quadro Q1G1 na galeria G1 .....	61
<b>Figura 25.</b> Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria 1 na região do Quadro Q2G1 .....	64
<b>Figura 26.</b> Figura 1.Registro fotográfico da comparação da visualização do Quadro Q2G1 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo Quadro Q1G1 em novembro de 2023 .....	66
<b>Figura 27.</b> Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G1 com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q2G1 e com o recrutamento da bioincrustação sobre o Esquema de pintura EP2Q2G1 .....	67
<b>Figura 28.</b> Registro fotográfico da Patologia da estrutura de concreto armado da paredes da Galeria G1 e da patologia do esquema de Pintura EP2Q2G1 aplicado no Quadro Q2G1 na Galeria G1.....	68
<b>Figura 29.</b> Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria 1 na região do Quadro Q2G1 .....	71
<b>Figura 30.</b> Registro fotográfico da comparação da visualização do quadro Q2G1 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo quadro Q2G1 em novembro de 2023 .....	72
<b>Figura 31.</b> Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G1 com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q2G1 .....	73
<b>Figura 32.</b> Registro fotográfico da Patologia da estrutura de concreto armado da paredes da Galeria G1 e da patologia do esquema de pintura EP3Q2G1 aplicado no quadro Q2G1 na galeria G1 .....	74
<b>Figura 33.</b> Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria G2 na região do Quadro Q3G2.....	77
<b>Figura 34.</b> Registro fotográfico da comparação da visualização do quadro Q3G2 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo Quadro Q3G2 em novembro de 2023 .....	79
<b>Figura 35.</b> Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G2 com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q3G2 .....	80
<b>Figura 36.</b> Registro fotográfico da Patologia da estrutura de concreto armado da paredes da Galeria G2 e da patologia do Esquema de pintura EP4Q3G2 aplicado no quadro Q3G2 na galeria G2 .....	81
<b>Figura 37.</b> Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria 2 na região do Quadro Q4G2 .....	84
<b>Figura 38.</b> Registro fotográfico da comparação da Visualização do Quadro Q4G2 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo Quadro Q4G2 em setembro de 2023 .....	86

<b>Figura 39.</b> Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G2 com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q4G2 .....	87
<b>Figura 40.</b> Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado da paredes da Galeria G2 e da patologia do esquema de pintura EP5Q4G2 aplicado no quadro Q4G2 na Galeria G2 .....	88
<b>Figura 41.</b> Divisão do registro fotográfico do recrutamento da bioincrustação da parede da galeria 2 na região do quadro Q5G2 .....	91
<b>Figura 42.</b> Registro fotográfico da comparação da visualização do quadro Q5G2 em 09/2017 ou 10/2018 com a visualização do mesmo Quadro Q5G2 em novembro de 2023. ....	93
<b>Figura 43.</b> Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da galeria G2 com o recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q5G2 .....	94
<b>Figura 44.</b> Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado da paredes da galeria G2 e da patologia do esquema de pintura EP6Q5G2 aplicado no quadro Q5G2 na galeria G2 .....	95
<b>Figura 45.</b> Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede do Túnel na região do Quadro Q6T .....	98
<b>Figura 46.</b> Registro fotográfico da comparação da Visualização do Quadro Q6T em 09/2017 ou 10/2018 com a visualização do mesmo Quadro Q6T em 11/2023 .....	100
<b>Figura 47.</b> Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede do Túnel T com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q6T .....	101
<b>Figura 48.</b> Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado da paredes do Túnel T e da patologia do esquema de pintura EP6Q6T aplicado no quadro Q6T no Túnel T. ....	102

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Classificação taxonômica da craca <i>Megabalanus coccopoma</i> .....	30
<b>Quadro 2.</b> Classificação taxonômica do vermetídeo <i>Petalconchus varians</i> .....	31
<b>Quadro 3</b> Descrição da natureza da falha de aderência .....	33
<b>Quadro 4.</b> Esquemas de pintura entregue pelos fornecedores e aplicados na superfície interna das galerias e do túnel.....	36
<b>Quadro 5.</b> Esquema da área onde foram executados os Ensaios Visuais Diretos Gerais (EVDG), os Ensaios Visuais Diretos Detalhados (EVDD) e os ensaios de Aderência dos Esquemas de Pintura (EAD) após removida a bioincrustação e aplicados os Esquemas de Pintura (EP) nas paredes das Galerias ou Túnel (G/T) .	47
<b>Quadro 6.</b> Apresentação da escolha dos itens que comporão o Formulário para anotações dos Resultados .....	48
<b>Quadro 7.</b> Resultado da escolha dos itens do Protocolo de inspeção.....	48
<b>Quadro 8.</b> Formulário para anotação e discussão dos Resultados dos Ensaios de avaliação do Recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das Galerias e Túnel e desempenho dos Esquemas de Pintura. ....	51
<b>Quadro 9.</b> Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 57
<b>Quadro 10.</b> Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 57
<b>Quadro 11.</b> Registro fotográfico da Patologia da estrutura de concreto armado da paredes da Galeria G1 e da Patologia do Esquema de Pintura EP1Q1G1 aplicado no Quadro Q1G1 na Galeria G1.....	63
<b>Quadro 12.</b> Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura. ....	70
<b>Quadro 13.</b> Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura. ....	71
<b>Quadro 14.</b> Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura. ....	76
<b>Quadro 15.</b> Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura. ....	77
<b>Quadro 16.</b> Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto	

armado das paredes das Galerias e Túnel e desempenho dos esquemas de Pintura. .....	83
<b>Quadro 17.</b> Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das Galerias e Túnel e desempenho dos esquemas de Pintura. .....	90
<b>Quadro 18.</b> Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das Galerias e Túnel e desempenho dos esquemas de Pintura. .....	97
<b>Quadro 19.</b> Resultado do desempenho de sistemas de pintura aplicados na descarga do SAC. <b>Legenda:</b> AP = aplicação, AD = resultado do ensaio de aderência à tração, BOINC = recrutamento da bioincrustação, MUD.COR = Mudança de cor, DELAM = delaminação, BOLHA = Formação de bolhas .....	105

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	19
<b>1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>19</b>
1.1.1 Apresentação do tema .....	20
1.1.2 Problemas .....	23
1.1.3 Desenvolvimento da pesquisa.....	23
1.2 OBJETIVOS .....	24
1.2.1 Objetivo geral .....	24
1.2.2 Objetivos específicos.....	25
1.3 JUSTIFICATIVA .....	25
1.3.1 Justificativa ambiental .....	25
1.3.2 Justificativa econômica.....	25
1.3.3 Justificativa social.....	26
1.3.4 Justificativa técnica .....	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	28
2.1 USINA NUCLEAR DE ANGRA I.....	28
2.1.1 Central nuclear Almirante Álvaro Alberto.....	28
2.1.2 Usina nuclear de Angra I .....	28
2.2 BIOINCRUSTAÇÃO .....	29
2.2.1 Interação da bioincrustação com estruturas navais e estruturas civis.....	29
2.2.2 Ocorrência da craca <i>Megabalanus coccopoma</i> na baía da Ilha Grande .....	30
2.2.3 Ocorrência do vermetídeo <i>Petalochonchus varians</i> na baía da Ilha Grande.....	31
2.3 Proteção anticorrosiva das estruturas de concreto armado .....	32
2.4 Inspeção de Esquemas de pintura .....	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 MATERIAIS .....	36
3.2 MÉTODOS .....	37
3.2.1 Acesso às galerias e túnel de descarga do SAC e inspeção de reconhecimento da bioincrustação na superfície interna da estrutura de descarga do SAC .....	37
3.2.2 Remoção parcial da bioincrustação na superfície interna da estrutura de descarga do SAC em seis quadros de 3 x 3 m .....	40
3.2.3 Classificação taxonômica das espécies encontradas na bioincrustação das galerias e túnel de descarga do SAC .....	41

3.2.4 Aplicação dos seis esquemas de pintura na superfície interna das galerias e túnel do SAC após a remoção da bioincrustação em seis quadros de 3 x 3 m.....	41
3.3 PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO DA BIOINCRUSTAÇÃO, ESTRUTURA DE CONCRETO E ESQUEMAS DE PINTURA POR QUADRO ONDE FOI REMOVIDA A BIOINCRUSTAÇÃO NAS GALERIAS E TÚNEL DE DESCARGA DO SAC .....	45
3.3.1 Ensaio visual direto geral (EVDG) dos Quadros nas Galerias ou no Túnel.....	49
3.3.2 Ensaio visual direto geral (EVDG) dos EP nas Galerias ou no Túnel .....	49
3.3.3 Ensaio visual direto detalhado (EVDD) da parede das Galerias ou do Túnel ..	49
3.3.4 Ensaio visual direto detalhado (EVDD) dos Quadros nas Galerias ou no Túnel .....	49
3.3.5 Ensaio visual direto detalhado (EVDD) dos Esquemas de Pintura nas Galerias ou no Túnel .....	50
3.3.6 Ensaio de Aderência (EAD) dos Esquemas de Pintura aplicados nas Galerias ou no Túnel .....	50
3.3.7 Registro dos Resultados das inspeções da Bioincrustação e respectivo recrutamento, Patologia da Estrutura de Parede de Concreto armado das Galerias e Túnel e Esquemas de Pintura aplicados .....	50
3.3.8 Cálculo da concentração da bioincrustação sobre um Quadro na Galeria ou Túnel QyGz/T .....	51
3.3.9 Registro fotográfico da inspeção do quadro QyGz/T onde foi aplicado o esquema de pintura ExQyGz/T .....	52
3.3.10 Modelo para a Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna das Galerias e Túnel, nos Quadro Qy onde foi removida a bioincrustação e aplicados os Esquemas de Pintura EPxQyGz/T .....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA BIOINCRUSTAÇÃO NAS GALERIAS E TÚNEL DE DESCARGA DO SAC .....	55
4.1 RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q1G1 E EP1Q1G1 - ESQUEMA DE PINTURA (MC-DUR 2496 CTP) DO FORNECEDOR MC-BAUCHEMIE BRASIL ....	56
4.1.1 Registro da inspeção do Recrutamento da Bioincrustação sobre o Quadro Q1G1, Patologia da Estrutura de Concreto da Parede da Galerias G1 e Desempenho do Esquema de Pintura EP1Q1G1.....	56
4.1.2 Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q1G1 na Galeria G1 .....	57
4.1.3 Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q1G1 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP1Q1G1.....	58
4.1.4 Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna da Galeria G1, no Quadro Q1G1 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquema de Pintura EP1Q1G1 .....	62

4.2 RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q2G1 E EP2Q2G1 - ESQUEMA DE PINTURA (PLASTEEL CERÂMICO AZUL PINTÁVEL) DO FORNECEDOR QUIMATIC TAPMATIC.....	62
4.2.1 Registro da inspeção do Recrutamento da Bioincrustação sobre o Quadro Q2G1, Patologia da Estrutura de Concreto da Parede da Galerias G1 e Desempenho do Esquema de Pintura EP2Q2G1.....	63
4.2.2 Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q2G1 na Galeria G1 .....	64
4.2.3 Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q2G1 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP2Q2G1.....	65
4.2.4 Discussão dos resultados da inspeção na superfície interna da Galeria G1, no Quadro Q2G1 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o esquema de pintura EP2Q2G1 .....	69
4.3 RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q2G1 E EP3Q2G1 - ESQUEMA DE PINTURA (ICOSIT K101 TW) DO FORNECEDOR SIKA BRASIL.....	69
4.3.1 Registro da inspeção do recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q1G1, patologia da estrutura de concreto da parede da galerias G1 e desempenho do esquema de pintura EP3Q2G1 .....	70
4.3.2 Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q2G1 na Galeria G1 .....	71
4.3.3 Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q2G1 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP3Q2G1.....	72
4.3.4 Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna da Galeria G1, no Quadro Q2G1 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquema de Pintura EP3Q2G1 .....	75
4.4 RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q3G2 E EP4Q3G2 - ESQUEMA DE PINTURA (INTERSLEEK 100 SR) DO FORNECEDOR AKZO NOBEL .....	75
4.4.1 Registro da inspeção do recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q3G2, patologia da estrutura de concreto da parede da galerias G2 e desempenho do esquema de pintura EP4Q3G2 .....	76
4.4.2 Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q3G2 na Galeria G2 .....	77
4.4.3 Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q3G2 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP4Q3G2.....	78
4.4.4 Discussão dos resultados da inspeção na superfície interna da galeria G2, no quadro Q3G2 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o esquema de pintura EP4Q3G2.....	82
4.5 RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q4G2 E EP5Q4G2 - ESQUEMA DE PINTURA (PLASTEEL ANTI-CRACA) DO FORNECEDOR QUIMATIC TAPMATIC	83
4.5.1 Registro da inspeção do recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q4G2, patologia da estrutura de concreto da parede da galerias G2 e desempenho do esquema de pintura EP5Q4G2 .....	83

4.5.2 Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q4G2 na Galeria G2 .....	84
4.5.3 Registro fotográfico da inspeção do quadro Q4G2 onde foi aplicado o esquema de pintura EP5Q4G2 .....	85
4.5.4 Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna da Galeria G2, no Quadro Q4G2 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquema de Pintura EP5Q4G2 .....	89
4.6 RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q5G2 E EP6Q5G2 - ESQUEMA DE PINTURA (PLASTEEL BRANCO ALTA RESISTÊNCIA QUÍMICA) DO FORNECEDOR QUIMATIC TAPMATIC .....	89
4.6.1 Registro da inspeção do recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q5G2, patologia da estrutura de concreto da parede da galerias G2 e desempenho do esquema de pintura EP6Q5G2 .....	90
4.6.2 Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q5G2 na Galeria G2 .....	91
4.6.3 Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q5G2 onde foi aplicado o esquema de pintura EP6Q5G2 .....	92
4.6.4 Discussão dos resultados da inspeção na superfície interna da galeria G2, no quadro Q5G2 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o esquema de pintura EP6Q5G2 .....	96
4.7 RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q6T E EP6Q6T - ESQUEMA DE PINTURA (PLASTEEL BRANCO ALTA RESISTÊNCIA QUÍMICA) DO FORNECEDOR QUIMATIC TAPMATIC .....	96
4.7.1 Registro da inspeção do Recrutamento da Bioincrustação sobre o Quadro Q6T, Patologia da Estrutura de Concreto da Parede do Túnel T e Desempenho do Esquema de Pintura EP6Q6T .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 97
4.7.2 Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q6T no Túnel T .....	98
4.7.3 Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q6T onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP6Q6T .....	99
4.7.4 Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna do Túnel T, no Quadro Q6T onde foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquema de Pintura EP6Q6T .....	103
4.8 Resumo dos resultados dos esquemas de pintura.....	104
5 CONCLUSÕES .....	106
6 TRABALHOS FUTUROS .....	107
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	108
Anexo 1.....	117
Anexo 2 .....	130

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A matriz elétrica brasileira é composta de várias fontes de energia renováveis das quais destacamos as contribuições das usinas hidrelétricas com 58,9%, da energia solar com 7,0%, da energia eólica com 13,2% e da energia nuclear com 2,0% (EPE, 2024). O Brasil dispõe, além destas fontes renováveis, de fontes não renováveis tais como a energia nuclear que contribui com 2,0% (EPE, 2024) dentre outras que provocam grande impacto ambiental pela contribuição para o aquecimento global mediante emissão de CO<sub>2</sub> tais como as usinas a carvão, óleo diesel e gás natural (GONÇALVES, 2024).

A utilização de fontes de energia renovável encontra várias limitações dentre as quais destacamos a disponibilidade em regiões específicas tais como a energia eólica e a energia solar. Já a energia hidrelétrica, que contribui com 58,9% da matriz elétrica brasileira (EPE, 2024), encontra-se, frequentemente ameaçada em razão das grandes variações dos níveis dos reservatórios em razão da mudança climática do planeta (ELETROBRÁS, 2004; KURAMOTO; APPOLONI, 2002).

Segundo Patrick Moore, um dos ambientalistas fundadores do Greenpeace - uma importante instituição na defesa do meio ambiente, a utilização da energia atômica combinada a fontes de energias renováveis é a única forma de garantir o suprimento mundial (MOORE, 2007; GONÇALVES, 2024). Somado ao aspecto ambiental da matriz elétrica, também devemos considerar o aspecto estratégico militar associado ao domínio da tecnologia nuclear para fins pacíficos onde se inclui a produção de energia elétrica.

Apesar das primeiras publicações científicas brasileiras relacionadas à tecnologia nuclear na década de 30, o interesse brasileiro por esta tecnologia nasceu ligada a objetivos militares, em 1945, e a compra do primeiro reator da empresa americana Westinghouse concretizou-se, sem transferência de tecnologia, em 1971. A efetiva transferência de tecnologia ocorreu por ocasião do acordo Brasil-Alemanha, em 1975, quando a intenção então era transformar o Brasil numa potência industrial além de militar, por conta do “milagre brasileiro” cuja demanda por energia elétrica

estava ameaçada por uma expectativa de falta de energia gerada por usinas hidrelétricas (KURAMOTO; APPOLONI, 2002).

Resultante das iniciativas brasileiras junto aos americanos e alemães na busca do domínio da tecnologia nuclear, o governo brasileiro criou a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto - CNAEA, também citada como “Central Nuclear de Angra”, que está localizada na cidade de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro, Brasil e é composta por três usinas nucleares denominadas Unidade I, Unidade II e Unidade III. A Unidade I, também citada como “Angra I”, projeto da empresa americana Westinghouse que gera potência nominal de 640 MW, iniciou sua operação comercial em 1985. A unidade II, também citada como “Angra II”, projeto da empresa alemã KWU que gera potência nominal de 1.350 MW, iniciou sua operação comercial em 2001. A unidade III, também citada como “Angra III”, projeto também da empresa alemã KWU para geração de 1.405 MW, está em construção e o início de sua operação comercial está previsto para 2026 (ELETROBRAS, 2024).

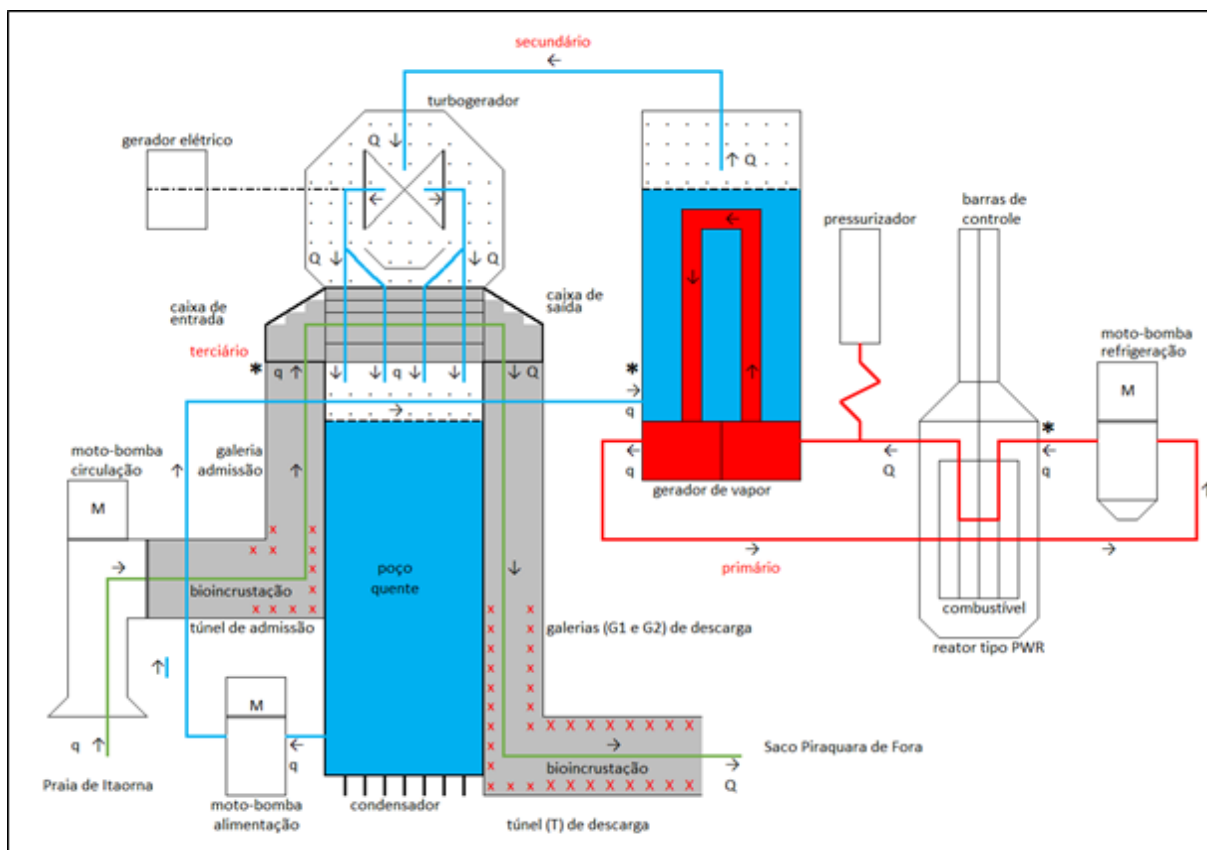
A pesquisa deste trabalho foi desenvolvida na Usina Nuclear Angra I e trata da avaliação da eficácia de esquemas de pintura aplicados em 2017 na superfície interna das galerias de descarga e em 2018 na superfície interna do túnel de descarga do sistema de água de circulação, no que se refere à inibição ou eliminação do crescimento da bioincrustação na superfície interna dessas estruturas da descarga do SAC que é composta por duas galerias e um túnel que conduzem água do mar utilizada na refrigeração de sistemas da usina (GOMES FILHO, 2020).

### **1.1.1. Apresentação do tema**

A usina Angra I gera energia elétrica a partir da transferência de calor produzida no reator para dois geradores de vapor, que são trocadores de calor em forma de vasos de pressão, compostos por feixes tubulares onde a água nele contida, em contato com a superfície externa à esses feixes, se transforma em vapor pela absorção do calor. O vapor gerado aciona uma turbina que acoplada ao eixo do gerador elétrico produz energia elétrica e, após rodar o eixo da turbina, perde energia e é direcionado aos condensadores, que são trocadores de calor compostos por feixes tubulares, onde é condensado e retorna ao estado líquido mediante contato com a superfície externa

do feixe tubular onde circula internamente a água do mar (**Figura 1**) captada na praia de Itaorna, através do túnel de admissão (CARDOSO, 2012).

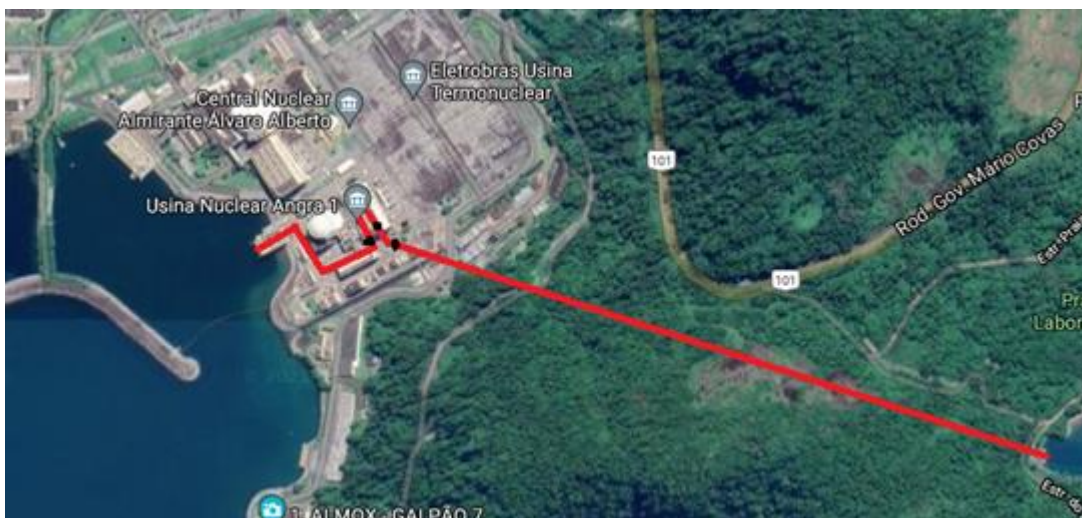
**Figura 1.** Processo de geração de energia elétrica na usina Angra I



Fonte: O AUTOR, 2024.

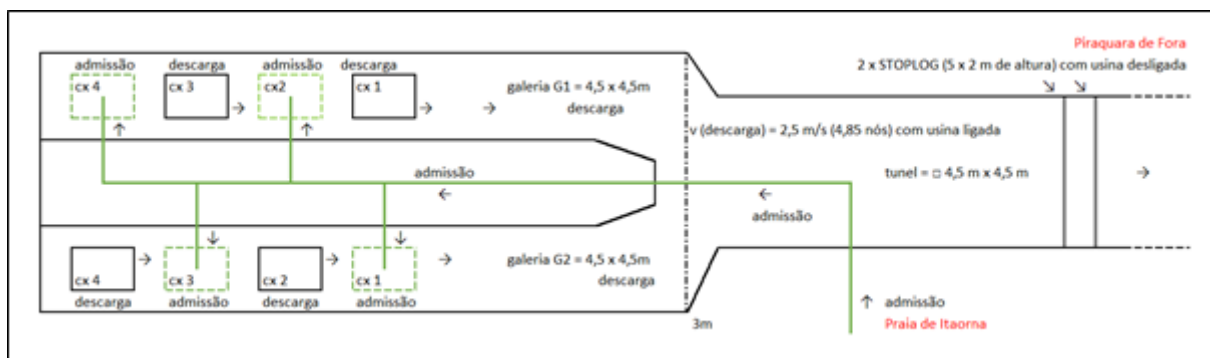
Após troca de calor indireta com o vapor que acionou as turbinas, a água do mar é descarregada no saco Piraquara de Fora (**Figura 2**) através do túnel de descarga (**Figura 3**), onde gera bioincrustação (**Figura 4**) que impede a inspeção das estruturas de concreto armado do túnel (GOMES FILHO, 2020).

**Figura 2.** Galerias e túneis de admissão (praia de Itaorna) e descarga (saco Piraquara de fora) do SAC da usina Angra I destacado em vermelho



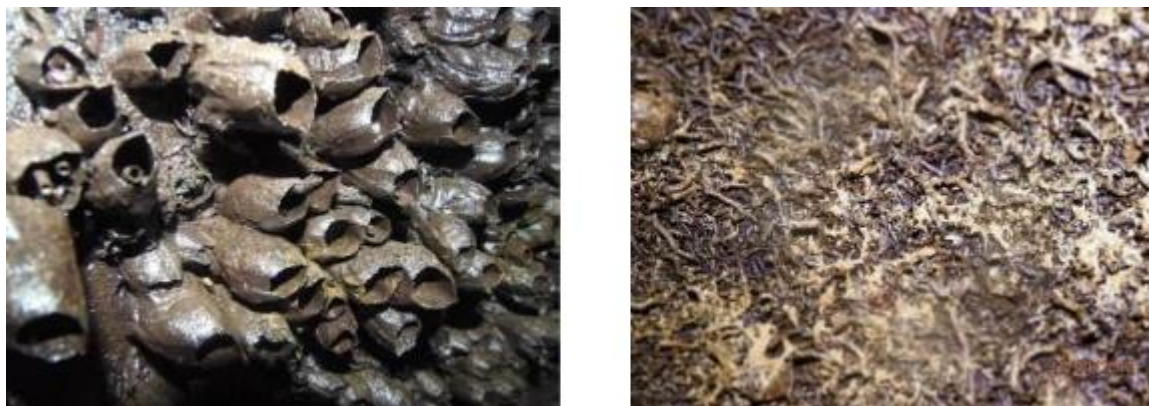
Fonte: Adaptado de GOOGLE MAPS, 2024.

**Figura 3.** Galerias G1 e G2 e túnel de descarga da água do mar após troca de calor indireta com o vapor que aciona o turbo gerador.



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 4.** Bioincrustação sobre a superfície interna das galerias e do túnel, respectivamente.



Fonte: O AUTOR, 2024.

### 1.1.2. Problemas

A bioincrustação formada na superfície interna do túnel impede a inspeção das suas estruturas de concreto armado, impossibilitando a detecção de manifestações patológicas e a intervenção precoce para evitar a ocorrência de anomalias (GOMES FILHO, 2020).

Dentre as manifestações patológicas mais relevantes, destacam-se as fissuras pelas quais ingressam cloretos e sulfatos na estrutura de concreto armado do túnel de descarga. Dentre as anomalias mais relevantes na estrutura de concreto armado do túnel de descarga, destacam-se a corrosão da armadura (NASCIMENTO, 2015) em consequência da despassivação, formação e expansão de produtos de corrosão e deslocamentos provocados pelo ingresso de cloretos e sulfatos da água do mar por fissuras (PEREIRA, 2017).

### 1.1.3. Desenvolvimento da pesquisa

Numa primeira etapa, foram aplicados, em setembro de 2017, cinco esquemas de pintura na superfície interna das galerias em quatro áreas de 3 x 3 m.

Numa segunda etapa foi aplicado, em outubro de 2018, um sexto esquema de pintura tanto em uma parede da galeria quanto em uma parede do túnel, também após a remoção da bioincrustação, em duas áreas de 3 x 3 m. Nesta ocasião foi possível observar que não houve crescimento da bioincrustação nas galerias no intervalo de setembro de 2017 a outubro de 2018.

Foi planejado o monitoramento dos esquemas de pintura mediante inspeção durante paradas para recarregamento do combustível do núcleo do reator que ocorre a cada 15 meses, de acordo com o ciclo do combustível nuclear. Desta forma foram feitas inspeções dos esquemas de pintura aplicados nas galerias e túnel nas paradas 1P23, 1P24, 1P25, 1P26, 1P27 e 1P28 nos meses de setembro de 2017, outubro de 2018, janeiro de 2020, abril de 2021, setembro de 2022 e novembro de 2023, respectivamente.

Na inspeção dos esquemas de pintura feita na parada 1P25, em janeiro de 2020, foi possível observar que a bioincrustação continuava não apresentando crescimento nas galerias, mas a bioincrustação no túnel se desenvolvia com alto

recrutamento, atingindo a maturidade plena no intervalo de outubro de 2018, quando foi removida, a janeiro de 2020. Por esta razão, a pesquisa foi dividida em duas fases, sendo a segunda fase incluída nos trabalhos futuros desta pesquisa.

Nesta primeira fase da pesquisa foram monitorados a ocorrência de manifestações patológicas na estrutura das paredes das galerias e do túnel, o recrutamento da bioincrustação nas galerias e no túnel, além do desempenho dos seis esquemas de pintura aplicados nas galerias, onde a bioincrustação não apresentou crescimento até novembro de 2023, mediante inspeção visual e ensaio de aderência à tração.

Na segunda fase, descrita na seção de trabalhos futuros desta pesquisa, propusemos o desenvolvimento de novos esquemas de pintura mediante a criação de um aditivo que será adicionado aos seis esquemas de pintura aplicados nas paredes das galerias e do túnel como um novo componente de cada um dos esquemas de pintura aplicados, com o apoio do Instituto de Estudos do Mar - IEAPM, localizado no município de Arraial do Cabo - RJ, para teste da eficácia deste aditivo, cujo objetivo será inibir o crescimento da bioincrustação no túnel.

## 1.2. OBJETIVOS

A seguir são descritos os objetivos gerais e os objetivos específicos que orientaram a condução da pesquisa, após uma revisão em 2020, para adequação do projeto de pesquisa à realidade do campo.

### 1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral da pesquisa foi estudar a eficácia dos esquemas de pintura, no que se refere a inibição ou eliminação do crescimento da bioincrustação, na superfície interna da estrutura de descarga do SAC que é composta por duas galerias e um túnel.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o recrutamento (crescimento de novos indivíduos) da craca da espécie *Megabalanus coccopoma* e do vermetídeo da espécie *Petalconchus varians* na superfície interna das galerias e túnel de descarga do SAC;
- Avaliar manifestações patológicas tais como fissuras, corrosão de armadura e deslocamentos na estrutura de concreto armado das galerias e túnel de descarga do SAC;
- Avaliar o desempenho de esquemas de pintura aplicados na superfície interna das galerias e túnel de descarga do SAC;
- Criar um manual técnico para avaliação das estruturas submersas do SAC da usina nuclear Angra I.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

#### 1.3.1. Justificativa ambiental

Além de apresentar baixo teor de solventes orgânicos, as tintas dos esquemas de pintura indicadas pelos fornecedores MC-Bauchemie, Quimatic Tapimatic, Sika e Akzo Nobel são aprovadas para uso comercial e pouco agressivas ao meio ambiente.

#### 1.3.2. Justificativa econômica

A exposição da estrutura de concreto armado de descarga do sistema de Água de Circulação da usina Angra I pode provocar a corrosão da armadura dessa estrutura em razão de cloretos presentes na água do mar. A proteção anticorrosiva dessas estruturas pelos esquemas de pintura aplicados contribui para a redução do número de intervenções para a recuperação das estruturas o que reduz o custo de manutenção da estrutura e aumenta a disponibilidade da usina para o Sistema Interligado Nacional (SIN) (GOMES FILHO, 2020).

### **1.3.3. Justificativa social**

A produção de conhecimento sobre a bioincrustação que interage com as estruturas da descarga do SAC, sobre patologia das estruturas e sobre os esquemas de pintura aplicados poderão ser utilizados na preservação das estruturas das usinas Angra II e Angra III e de outras estruturas fora de Central Nuclear de Angra mas na mesma região, que estejam expostas em condições similares à usina Angra I. Além de aumentar a confiabilidade da usina, esta pesquisa contribui para a geração de empregos em razão de contratação de trabalhadores para a execução de todas as atividades envolvidas.

### **1.3.4. Justificativa técnica**

A remoção da bioincrustação, ainda que parcial, possibilita a inspeção da estrutura da descarga do sistema de Água de Circulação e aplicação de esquemas de pintura contribui para a proteção dessa estrutura contra a entrada de contaminantes que podem desensatear o início do processo de corrosão da armadura dessa estrutura.

A estrutura das galerias e do túnel trabalham parcialmente inundadas durante a operação da usina, somente é possível executar essa inspeção da estrutura em paradas da usina para recarregamento do combustível nuclear no núcleo do reator, quando parte da descarga do SAC é drenada para manutenção. Numa inspeção de reconhecimento das estruturas do túnel e das galerias de admissão do SAC executada em 2015 foi registrada suspeita de manifestação patológica numa pequena região da superfície interna de uma das galerias que estava coberta por bioincrustação com espessura inferior a 2 cm de espessura que impediu o ensaio visual direto dessa parte da estrutura. Como não houve tempo para remover a bioincrustação que impedia a visualização da estrutura naquela parada, uma inspeção foi planejada para parada posterior, em 2016. Nessa nova inspeção, após removida a bioincrustação que impediu a inspeção, foi confirmada a ocorrência de uma pequena anomalia que foi recuperada pela equipe da manutenção.

A detecção da manifestação patológica sob a bioincrustação confirmou, definitivamente, a necessidade de remoção, ainda que parcial, da bioincrustação sob

a estrutura para uma inspeção amostral para possibilitar a detecção precoce de uma manifestação patológica antes que essa se torna uma anomalia pois quando detectada em estágios mais avançados, a recuperação da estrutura pode demandar:

[1] aumento do tempo de desligamento da usina em razão da necessidade de manter o túnel drenado por mais tempo para executar a recuperação da estrutura;

[2] Indisponibilidade da usina para produção de energia elétrica para alimentação do sistema elétrico nacional o que provoca perda de faturamento para a Eletronuclear que é a empresa operadora da usina de Angra 1;

[3] redução da confiança da sociedade na capacidade de usinas nucleares produzir energia elétrica com regularidade de disponibilidade.

Surge daí, então, a necessidade de:

[a] remoção, ainda que parcial, da bioincrustação sobre a superfície interna das galerias e do túnel de descarga do SAC para possibilitar a visualização da estrutura;

[b] execução do ensaio visual direto dessas estruturas para possibilitar a detecção de eventuais manifestações patológicas em seu estágios iniciais ;

[c] testar esquemas de pintura com os objetivos de proteger a estrutura do ingresso de contaminantes e possibilitar a inspeção dessa estrutura visto que os esquemas de pintura apresentam relativa eficácia anti-incrustante que retarda o recrutamento da bioincrustação e possibilita a inspeção indireta da estrutura pois uma anomalia da estrutura seria refletida no esquema de pintura aplicado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. USINA NUCLEAR ANGRA I

#### 2.1.1. Central nuclear Almirante Álvaro Alberto

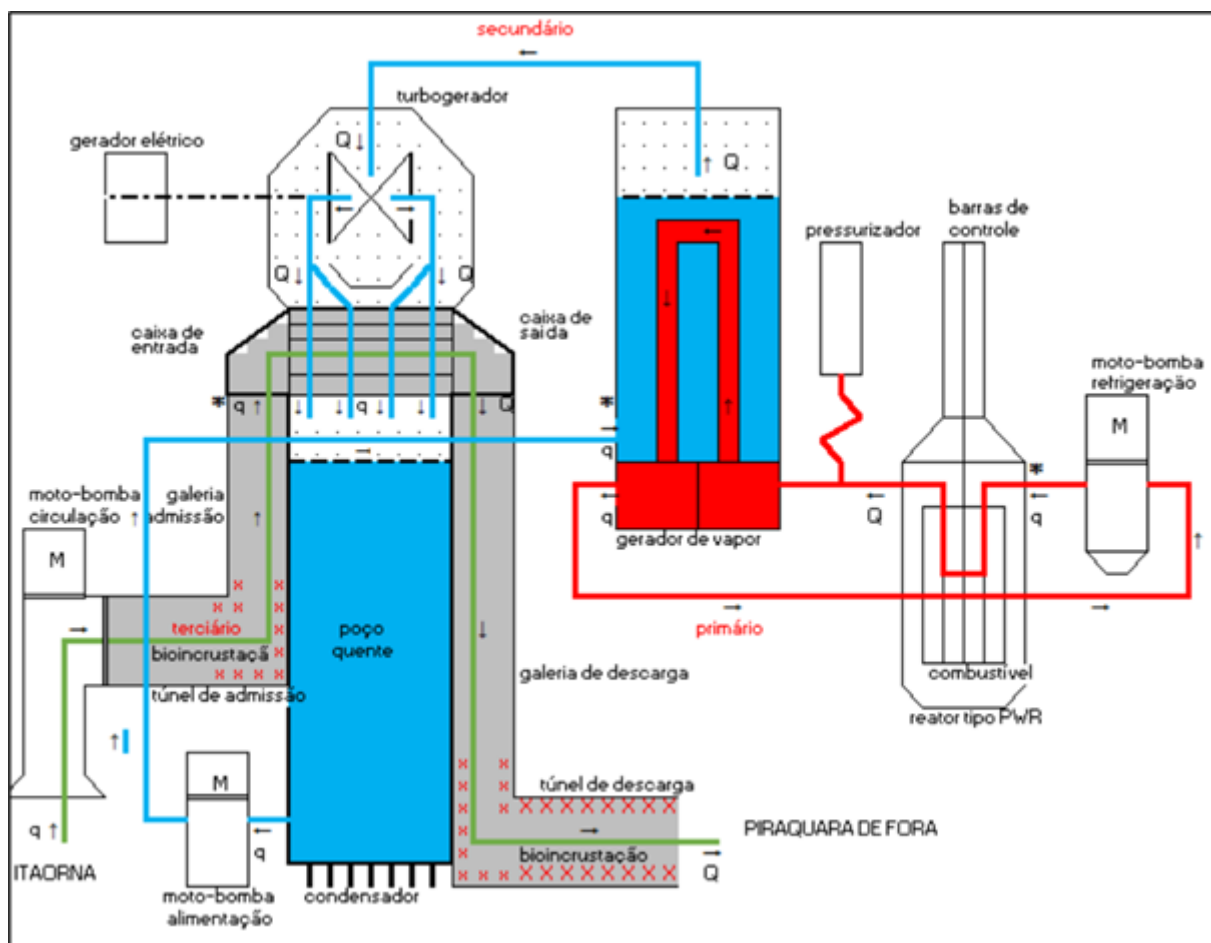
A Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto - CNAAA composta por três usinas nucleares Angra I, Angra II e Angra III teve a sua localização determinada na cidade de Angra dos Reis, RJ em razão da proximidade dos três principais centros consumidores (São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro) e do mar que é utilizado nos sistemas de refrigeração (IPEA, 2010)

#### 2.1.2. Usina nuclear Angra I

Entre os vários tipos de reatores nucleares de água fervente (BWR), de água pressurizada (PWR), refrigerados a gás (HTGR) e de água pesada (HWR), o Brasil adotou, para as três usinas, incluindo Angra I, o modelo de reator a urânio enriquecido e água leve pressurizada PWR (pressurized water reactor) por ocasião do seu ingresso na era nuclear (USP, 2020).

Nas usinas PWR a fissão dos átomos de urânio das varetas de elemento combustível aquece a água no reator no circuito primário. A água dos geradores (circuito secundário) troca calor com a água do reator que é impulsionada pelas bombas de refrigeração do reator em circuitos independentes e se transforma em vapor quando aciona um turbogerador e gera energia elétrica. Após acionar o turbogerador, a água do circuito secundário troca calor com a água do mar, quando é condensada e retorna ao gerador de vapor (**Figura 5**) para continuidade do ciclo de geração de energia elétrica (CARDOSO, 2012).

**Figura 5.** Processo de geração de energia elétrica com a representação da descarga da água do mar no saco Piraquara de Fora na usina Angra I tipo PWR.



Fonte: O AUTOR, 2024.

## 2.2. BIOINCRUSTAÇÃO

### 2.2.1. Interação da bioincrustação com estruturas navais e estruturas civis

A bioincrustação caracteriza-se pelo acúmulo indesejado de microorganismos, plantas e animais em superfícies expostas à água do mar e representa um grande problema para a indústria naval em razão de camuflar possíveis danos estruturais (AGOSTINI; MACEDO; MUXAGATA, 2018). Analogamente às estruturas navais, também as estruturas civis são alvo de desenvolvimento da bioincrustação que impede a visualização e a inspeção dessas estruturas.

A bioincrustação desenvolve-se (MAGIN; COOPER; BRENNAN, 2010) em quatro estágios principais:

[1] Adsorção de biopolímeros na água em contato com a superfície;

[2] Atração química e fixação de bactérias;

[3] Crescimento de população bacteriana secundária, diatomáceas e protozoários;

[4] Desenvolvimento de macroincrustação mediante desenvolvimento de eponjas, cracas e vermetídeos, dentre outros

### 2.2.2. Ocorrência da craca *Megabalanus coccopoma* na baía da Ilha Grande

A craca da espécie *Megabalanus coccopoma* é um artrópode da família Balanidae (**Quadro 1**) descrito por Charles Darwin, em 1854, que ocupa a porção inferior da região entre marés dos costões rochosos da baía da Ilha Grande (D'ALMEIDA, 2017) e em grande parte da costa brasileira (SiBBR, 2024), conforme **Figura 6**.

**Quadro 1.** Classificação taxonômica da craca *Megabalanus coccopoma*

kingdom	Animalia
phylum	Arthropoda
superclass	Crustacea
class	Hexanauplia
subclass	Thecostraca
infraclass	Cirripedia
superorder	Thoracica
order	Sessilia
suborder	Balanomorpha
family	Balanidae
subfamily	Megabalaninae
genus	<i>Megabalanus</i>
species	<i>Megabalanus coccopoma</i>

Fonte: SiBBR, 2024.

**Figura 6.** Ocorrência da craca *Megabalanus coccopoma* na baía da Ilha grande.



Fonte: SiBBR, 2024.

### 2.2.3. Ocorrência do vermetídeo *Petaloconchus varians* na baía da Ilha Grande

O vermetídeo *Petaloconchus varians* é um molusco gastrópode da família Vermetidae (**Quadro 2**) descrito em 1839 por D'Orbigny que ocupa a região entre marés dos costões rochosos da baía da Ilha Grande (BREVES, 2016, 2017; DIAS, 2011) e em grande parte da costa brasileira (SiBBr, 2024), conforme **Figura 7**.

**Quadro 2.** Classificação taxonômica do vermetídeo *Petaloconchus varians*.

kingdom	Animalia
phylum	Mollusca
class	Gastropoda
subclass	Caenogastropoda
order	Littorinimorpha
superfamily	Vermetoidea
family	Vermetidae
genus	<i>Petaloconchus</i>
species	<i>Petaloconchus varians</i>

Fonte: SiBBr, 2024.

**Figura 7.** Ocorrência do vermetídeo *Petaloconchus varians* na baía da Ilha Grande.

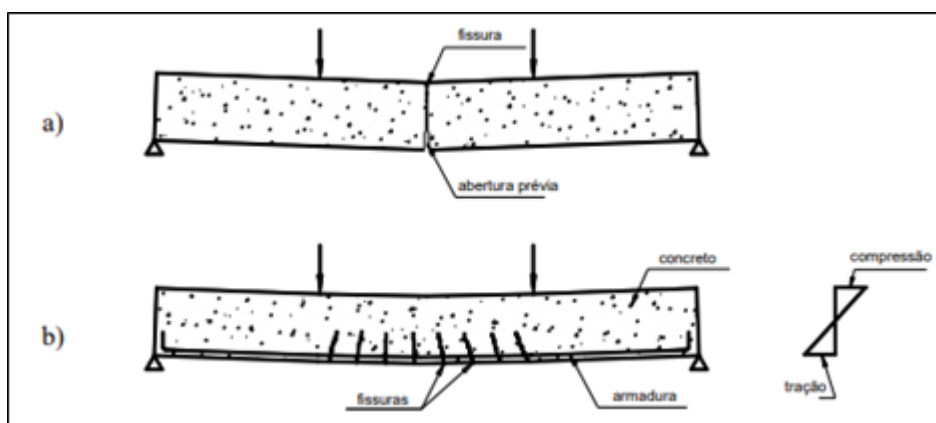


Fonte: SiBBr, 2024.

### 2.3. PROTEÇÃO ANTICORROSIVA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto armado é formado pelo concreto e pela armadura. O concreto, por sua vez, é composto por agregados graúdo e miúdo, água e cimento e sua função é suportar os esforços de compressão sobre a estrutura. A armadura é composta de vergalhão de aço e sua função é suportar os esforços de tração sobre a estrutura, conforme **Figura 8** (BASTOS, 2019).

**Figura 8.** Estrutura de concreto comum e armado com os esforços de compressão e tração e as fissuras por onde ingressam agentes ambientais



Fonte: BASTOS, 2019.

A exposição da estrutura de concreto armado aos agentes ambientais sujeita esta estrutura ao processo de corrosão da armadura, o que reduz a capacidade da estrutura de suportar os esforços de tração e pode provocar a perda da estabilidade da estrutura (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).

Para prevenir as manifestações patológicas citadas, podem ser aplicados esquemas de pintura na superfície exposta das estruturas com o objetivo de proteger evitar a entrada de contaminantes tais como cloretos, que provocam a corrosão da armadura e o consequente deslocamento do concreto pela geração dos produtos de corrosão (CAMARGO, 2017).

Além da proteção anticorrosiva dos esquemas de pintura, é recomendada a execução de inspeção visual das estruturas de concreto armado com objetivo de detectar manifestações patológicas tais como fissuras por onde podem ingressar

agentes nocivos para o processo de corrosão da armadura de aço da estrutura (SOARES; VASCONCELOS; NASCIMENTO, 2015).

#### 2.4. INSPEÇÃO DE ESQUEMAS DE PINTURA

Um esquema de pintura é composto, normalmente, por uma tinta de fundo com a função de proteção anticorrosiva da estrutura e uma tinta de acabamento responsável pela proteção do esquema de pintura contra agentes ambientais tais como raios ultravioleta dentre outros (ALMEIDA et al., 2001).

As tintas do esquema de pintura são compostas pelo pigmento que proporciona a cor e proteção anticorrosiva, pela resina que liga e dispersa os pigmentos, pelo solvente que solubiliza e contribui para o controle da viscosidade e aumenta a trabalhabilidade e pelos aditivos que são adicionados à tinta para atribuição de propriedades específicas para as tintas (MARQUES, 2017).

Para garantir a integridade dos esquemas de pintura são executados inspeção visual para detecção prematura de manifestações patológicas dos esquemas de pintura e ensaios, dentre os quais destaca-se o ensaio de aderência que testa a aderência do esquema de pintura ao substrato e entre as tintas de fundo e acabamento (FRAGATA; AMORIM; ORDINE, 2010).

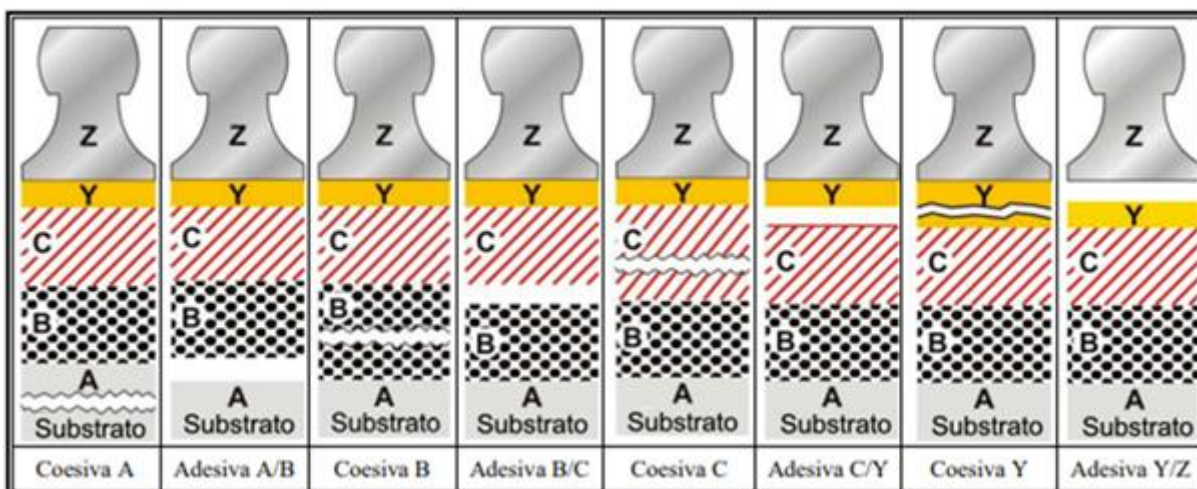
Uma das normas recomendadas para a execução do ensaio de aderência é a ASTM D 4541. Esta norma indica um método de resistência à tração onde é colada uma peça metálica no esquema de pintura e após um tempo de cura conecta-se um instrumento eletrônico que fara a tração no esquema de pintura até a sua remoção parcial indicando o tipo de falha e o valor da tração, conforme **Quadro 3** e **Figura 9** (FRAGATA; ORDINE; AMORIM, 2012).

**Quadro 3** Descrição da natureza da falha de aderência

Classificação	Natureza da Falha
A	falha coesiva do substrato
A/B	falha adesiva entre o substrato e a primeira camada do revestimento
B	falha coesiva da primeira camada do revestimento
B/C	falha adesiva entre as camadas B e C
C	falha coesiva da camada C
C/Y	falha adesiva entre a última camada de tinta e o adesivo
Y	falha coesiva do adesivo
Y/Z	falha adesiva entre o adesivo e o carretel ("dolly")

Fonte: FRAGATA; ORDINE; AMORIM, 2012.

**Figura 9.** Esquemas dos tipos de falha de aderência.



Fonte: FRAGATA; ORDINE; AMORIM, 2012.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são descritos os materiais e métodos utilizados na avaliação da bioincrustação, das estruturas de concreto armado e dos esquemas de pintura aplicados nas galerias e túnel de descarga do SAC.

Foi desenvolvido, no período de setembro de 2017 a outubro de 2023, um protocolo que inclui:

[1] o acesso ao ambiente das galerias e túnel;

[2] o reconhecimento, classificação, remoção parcial e monitoramento da bioincrustação nas galerias e túnel;

[3] a execução de inspeção visual da estrutura das galerias e túnel;

[4] a preparação do substrato, aplicação, inspeção visual e ensaio de aderência dos esquemas de pintura.

Este protocolo é composto do registro fotográfico global dos quadros e dos esquemas de pintura, registro fotográfico detalhado dos quadros e dos esquemas de pintura e registro detalhado fotográfico da região de transição entre a área coberta por bioincrustação, a área onde foi removida a bioincrustação e a área onde foi aplicado o esquema de pintura.

A vantagem deste protocolo é que com apenas uma sequência de ações será possível avaliar tanto o desenvolvimento da bioincrustação, como a inspeção da estrutura das galerias e túnel e a avaliação do desempenho dos esquemas de pintura aplicados.

### 3.1. MATERIAIS

Baseado na proposta de pesquisa, os fornecedores MC-Bauchemie, Quimatic Tapmatic, Sika, Akzo Nobel indicaram e forneceram, gratuitamente, os materiais dos esquemas de pintura descritos no **Quadro 4** Importante destacar que não foi imposto nenhum pré-requisito aos fornecedores para a indicação dos esquemas de pintura; cada um indicou o esquema de pintura que entendeu que apresentaria o melhor desempenho para a condição apresentada.

O fornecedor MC-Bauchemie optou por um esquema de pintura com a base resina poliuretano, os fornecedores Quimatic Tapmatic e Sika optaram por esquemas de pintura com a base resina epóxi e o fornecedor Akzo Nobel optou por um esquema de pintura com a base resina fluoropolímero.

Destacamos, dentre os esquemas de pintura, o esquema de pintura indicado pela Sika onde foi aplicada argamassa polimérica com a função de barreira de vapor e o esquema de pintura indicado pela Quimatic Tapmatic contendo o aditivo biocida óxido cuproso.

**Quadro 4.** Esquemas de pintura entregue pelos fornecedores e aplicados na superfície interna das galerias e do túnel

Nome	Fornecedor	Especificação	Esquema de pintura
MC-2496 CTP	MC-Bauchemie	Resina poliuretano	EP1Q1G1
Plasteel azul	Quimatic Tapmatic	Resina epóxi	EP2Q2G1
Icosit K 101 TW	Sika	Resina epóxi e Argamassa polimérica	EP3Q2G1
Intersleek 1100 SR	Akzo Nobel	Resina fluoropolímero	EP4Q3G2
Plasteel anti-craca	Quimatic Tapmatic	Resina epóxi e Óxido cuproso	EP5Q4G2
Plasteel branco	Quimatic Tapmatic	Resina epóxi	EP6Q5G2 EP6Q6T

Fonte: O AUTOR, 2024.

## 3.2. MÉTODOS

A seguir apresentamos as etapas utilizadas no desenvolvimento da pesquisa

### **3.2.1. Acesso às galerias e túnel de descarga do SAC e inspeção de reconhecimento da bioincrustação na superfície interna da estrutura de descarga do SAC**

Foram utilizados, no acesso ao túnel, cinto de segurança para proteção contra quedas, macacão comum ou macacão impermeável branco do tipo *TYCHEN* para proteção contra lesões na pele; short e camiseta para aumentar o conforto na utilização do macacão, bota do tipo galocha em razão da umidade no piso do túnel e luva de vaqueta (CA: 37548) para proteção das mãos para proteção das mãos.

Entretanto, esse acesso só é possível após a drenagem da estrutura de descarga do Sistema de Água de Circulação (SAC) que abrange as galerias e parte do túnel até o stoplog. O stoplog é uma parede dupla construída com chapas de aço com dimensão de 4,7 m de largura por 2,0 m de altura onde cada parede é composta por 5 chapas sobrepostas de forma a alcancem a altura de 10 m que corresponde ao nível do mar. Elas são encaixadas, uma a uma, em guias laterais na estrutura de concreto.

O acesso ao ambiente das galerias e do túnel da descarga do SAC é feito em duas etapas com uso de escada metálica, sistema de força com talhas e cinto de segurança e todas as atividades executadas no ambiente das galerias e do túnel são classificadas como:

[1] espaço confinado pois tem um único acesso, não é projetado para ocupação humana e tem meios limitados de ventilação, conforme descrito na norma Regulamentadora NR-33 (Saúde e Segurança no trabalho em espaços confinados);

[2] trabalho em altura pois o acesso ao local das duas etapas é feito em uma altura; maior que dois metros, conforme descrito na Norma Regulamentadora NR-35 (Trabalho em altura).

Na primeira etapa o acesso é feito mediante a retirada de uma tampa metálica por um tubo de concreto de 3 metros de altura que dá acesso a um flange de oito

parafusos através de uma escada metálica, sistema de força com talhas e cinto de segurança em razão da necessidade de resgate do espaço confinado (**Figura 10**).

**Figura 10.** Bocal de visita de acesso ao flange na cobertura do túnel (primeira etapa do acesso) e flange de acesso ao túnel de descarga do SAC (segunda etapa do acesso).



Fonte: O AUTOR, 2024.

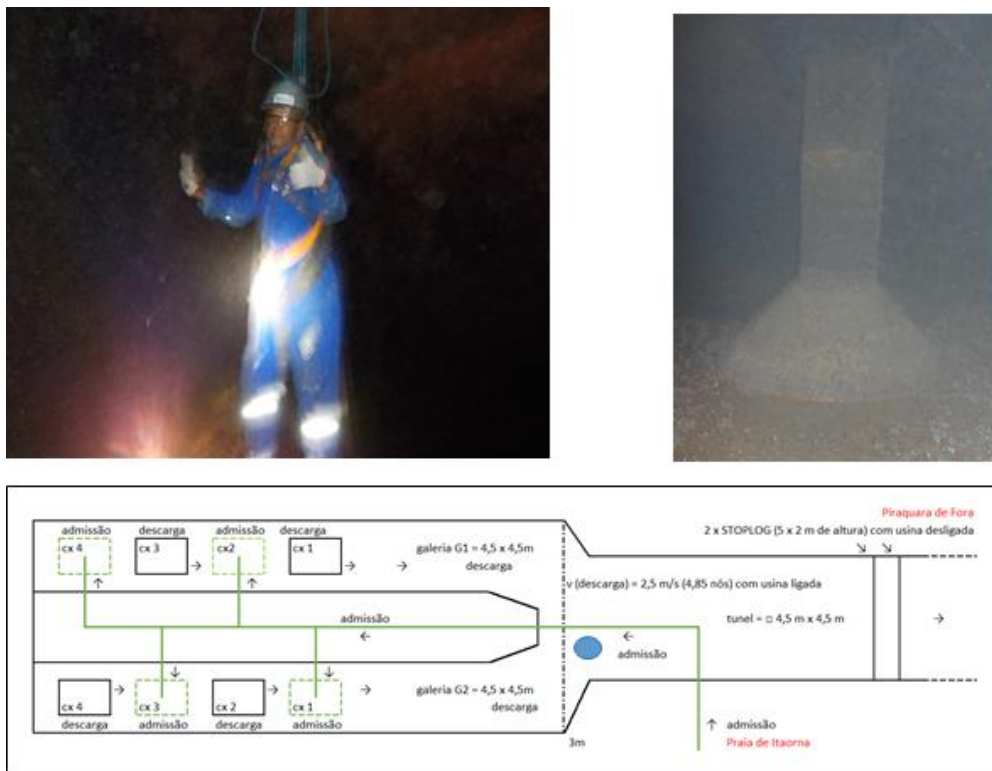
Na segunda etapa o acesso é feito mediante a abertura do flange utilização de sistema de força com talhas e cinto de segurança e a descida é feita com uso de pau de carga e sistema de força com uso de talhas que é preso no cinto de segurança do trabalhador responsável pela atividade nas galerias e túnel onde o vigia do espaço confinado ou o resgatista que atende o espaço confinado opera o sistema de força que, conectado ao cinto de segurança, desce os inspetores os inspetores içados pelo sistema de força até a região de transição entre as galerias e o túnel.

O reconhecimento da bioincrustação na superfície interna da estrutura de concreto armado das galerias e túnel da admissão e da descarga do Sistema de Água de Circulação (SAC) aconteceu em junho de 2016 (**Figura 11 e 12**).

Isto se deu em razão de uma inspeção cujo objetivo era detecção de eventual manifestação patológica. quando foi observada a inexistência de bioincrustação no final do Túnel de admissão e nas galerias e túnel de descarga do SAC. Foi observado, ainda, que a espécie da bioincrustação predominante nas Galerias de descarga era diferente da espécie da bioincrustação predominante no túnel de descarga, conforme mostra a **Figura 13**. Surgiu daí, a necessidade de executar a classificação da bioincrustação presente nas galerias e no túnel em razão para melhor entender a

interação das duas espécies com o ambiente das galerias e túnel e a interação entre as duas espécies neste ambiente.

**Figura 11.** Acesso do inspetor ao ambiente das galerias e túnel de descarga do SAC mediante utilização de sistema de talhas onde o inspetor desce içado pelo cinto de segurança.



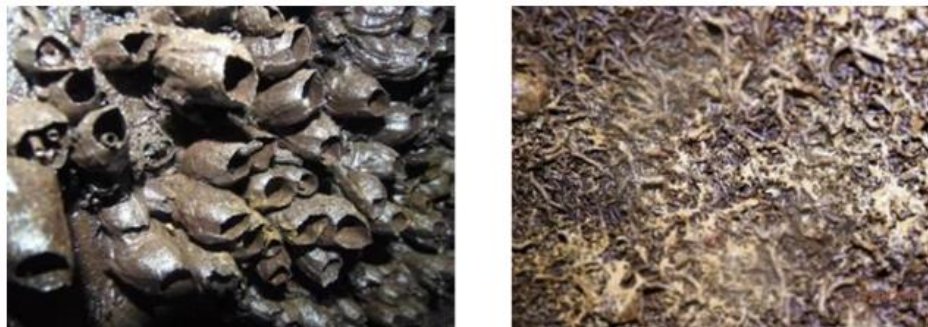
Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 12.** Inspeção de reconhecimento do ambiente da estrutura de descarga do SAC da usina Angra I.



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 13.** Bioincrustação predominante nas galerias e no túnel de descarga do SAC, respectivamente.



Fonte: O AUTOR, 2024.

### **3.2.2. Remoção parcial da bioincrustação na superfície interna da estrutura de descarga do SAC em seis quadros de 3 x 3 m**

A bioincrustação na superfície interna das galerias e túnel foi removida parcialmente em seis quadros de 3 x 3 m mediante a utilização de um sistema de hidro-jato composto de compressor, controles, mangueiras e bico rotativo com pressão de 27.000 psi.

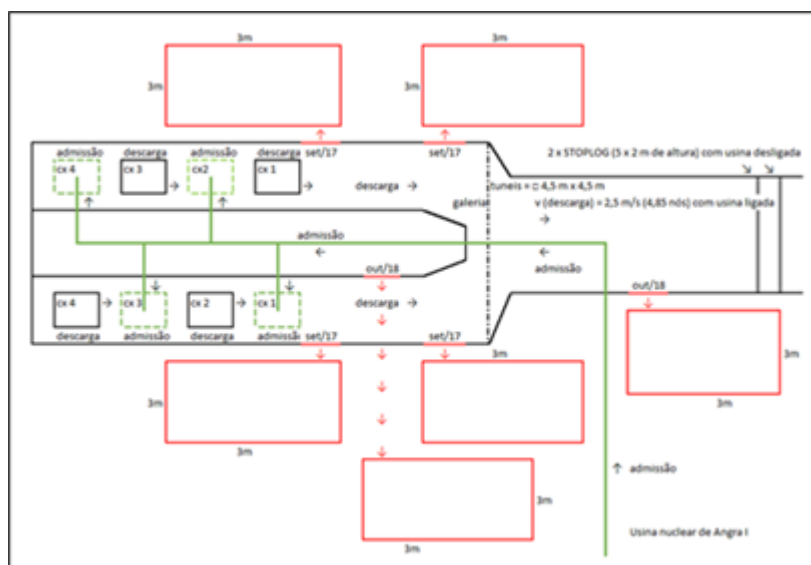
Foi executada a remoção parcial da bioincrustação nos quadros Q1G1 e Q2G1 na galeria 1 (G1) e nos quadros Q3G2, Q4G2 na Galeria 2 (G2) em setembro/2017. Posteriormente, em outubro/2018, foi removida a bioincrustação em mais dois quadros Q5G2 na galeria 2 e Q6T no túnel (T), ambos na descarga do SAC (**Figura 14 e Figura 15**).

**Figura 14.** Remoção da bioincrustação nas galerias e túnel mediante utilização da hidro-jateamento a 27.000 psi.



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 15.** Área dos quadros de 3 x 3 m onde foi removida a bioincrustação nas galerias e túnel de descarga do SAC.



Fonte: O AUTOR, 2024.

### 3.2.3. Classificação taxonômica das espécies encontradas na bioincrustação das galerias e túnel de descarga do SAC

Foi coletada, em outubro de 2018, e encaminhada ao Laboratório de Monitoração Ambiental (LMA) da Eletronuclear, amostra da bioincrustação na superfície interna das galerias e túnel de descarga do SAC para execução da classificação taxonômica mediante utilização do critério morfológico.

Essa coleta da amostra ocorreu simultaneamente à remoção da bioincrustação em duas áreas ou dois quadros de 3 x 3 m na galeria G2 e no túnel, respectivamente, adicionalmente à área dos quatro quadros de 3 x 3 m onde foi removida a bioincrustação nas galerias em setembro de 2017.

### 3.2.4. Aplicação dos seis esquemas de pintura na superfície interna das galerias e túnel do SAC após a remoção da bioincrustação em seis quadros de 3 x 3 m

#### Preparação do substrato

Foram utilizados, além dos esquemas de pintura aplicados:

[1] equipamento para hidrojateamento com pressão de 27.000 psi composto de compressor, mangueiras e bico rotativo para remoção da bioincrustação nas paredes das galerias e do túnel;

[2] Formão metálico para remoção dos resíduos de fixação da bioincrustação após o hidrojateamento;

[3] lixadeira pneumática para remoção de resíduos da fixação da bioincrustação em razão do espaço confinado do ambiente das duas galerias e túnel de descarga do SAC;

[4] pano úmido para remoção de pó residual da utilização da lixadeira pneumática;

[5] metade de uma bombonas plásticas após corte das bombona para mistura dos componentes do esquema de pintura;

[6] trincha para aplicação do esquemas de pintura após a preparação.

Foi preparado o substrato de concreto da superfície interna das paredes na região dos quadros Q1G1, Q2G1, Q3G2, Q4G2 e Q5G2 nas Galerias G1 e G2 em setembro/2017 e na região dos quadros Q5G2 na galeria G1 e Q6T no túnel T em outubro/2018, ambos na descarga do SAC, para aplicação dos seis esquemas de pintura EP1Q1G1, EP2Q2G1, EP3Q2G2, EP4Q3G2, EP5Q4G2 dos 4 fornecedores MC-Bauchemie Brasil, Quimatic Tapmatic, Sika Brasil e Akzo Nobel nas galerias e do esquema de pintura EP6Q6T no túnel.

Pelo fato do ambiente da descarga ser classificado como espaço confinado, o equipamentos utilizados neste ambiente tem de atender a qualificação de “intrinsecamente seguros” que são aqueles equipamentos que operam com energia tão baixa incapaz de acender material inflamável, conforme determina a norma IEC 60079-11.

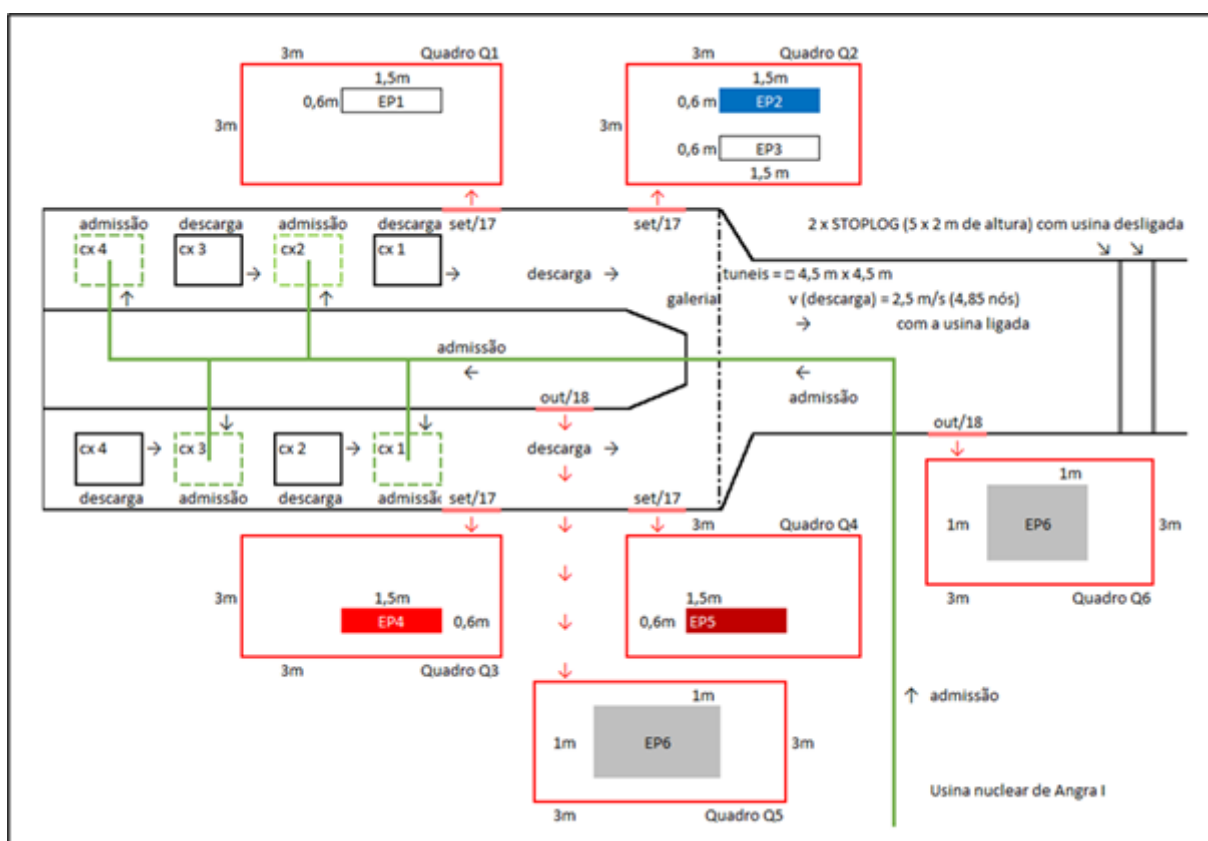
Após a remoção da bioincrustação mediante utilização de hidrojato e formão metálico, ainda sobram resíduos de fixação da bioincrustação na superfície interna da estrutura das galerias e túnel cuja remoção tem de ser feita mediante uso de lixadeira. Como não existia a disponibilidade de lixadeira intrinsecamente segura, foi utilizada lixadeira pneumática para remoção dos resíduos de fixação da bioincrustação tanto nas galerias quanto no túnel.

Após a remoção dos resíduos de fixação da bioincrustação no substrato de concreto, foi utilizado pano úmido para remover o pó que resta do lixamento da superfície interna.

### Aplicação dos esquemas de pintura

Foram aplicados nas galerias (G1 e G2) e no túnel (T) de descarga do sistema de Água de Circulação - SAC, em setembro/2017 e outubro/2018, seis esquemas de pintura das empresas MC-Bauchemie Brasil, Quimatic Tapmatic, Sika Brasil e Akzo Nobel (**Figura 16**).

**Figura 16.** Esquemas de pintura EP1Q1G1, EP2Q2G1, EP3Q2G1, EP4Q3G2, EP5Q4G2, EP6Q5G2 e EP6T, na superfície interna das Galerias e Túnel do SAC onde o identificador de cada esquema de pintura é composto das letras e números EP1 a EP6 (Esquemas de Pintura).



Fonte: O AUTOR, 2024.

O primeiro esquema de pintura MC-DUR 2496 CTP (EP1Q1G1) fornecido pela empresa MC-Bauchemie Brasil foi aplicado em 09/2017 no quadro Q1 localizado na

galeria G1. Este esquema de pintura composto de uma tinta de fundo e uma tinta de acabamento foi aplicado em 2 etapas referentes a cada uma das 2 tintas, após a mistura dos componentes A e B de cada uma das tintas. Foram aplicadas uma demão de PRIMER MC-DUR 1200 VK e uma demão de MC-DUR 2496 CTP com uma espessura total de 300 µm.

O segundo Esquema de Pintura Plasteel Azul (EP2Q2G1) fornecido pela empresa Quimatic Tapmatic foi aplicado em setembro /2017 na parte superior do Quadro Q2 localizado na Galeria G1. Este esquema de pintura composto de apenas uma tinta, foi aplicado com trincha após a mistura dos componentes A e B. Foi aplicada uma demão de PLASTEEL AZUL com uma espessura total de 200 µm.

O terceiro esquema de pintura usando a Icosit k101 TW (EP3Q2G1) fornecido pela empresa Sika Brasil foi aplicado em setembro/2017 na parte inferior do quadro Q2 localizado na galeria G1. Este esquema de pintura composta de argamassa polimérica e uma tinta, foi aplicado em duas etapas. Foram aplicadas uma demão de SIKAGARD 720 EPOCEM e uma demão de ICOSIT K 101 TW com uma espessura total de 15 mm.

O quarto esquema de pintura Intersleek 1100 SR (EP4Q3G2) fornecido pela empresa Akzo Nobel foi aplicado em setembro/2017 no quadro Q3 localizado na galeria G2. Este esquema de pintura composto de duas tintas de fundo e três de acabamento foi aplicado em 4 etapas referentes a cada uma das 4 tintas, com intervalo de 6 horas entre cada etapa, após a mistura dos componentes A e B de cada uma das tintas. Foram aplicadas uma demão de INTERSHIELD 300, uma demão de INTERSLEEK 731 e uma demão de INTERSLEEK 1100 SR com uma espessura total de 300 µm.

O quinto esquema de pintura Plasteel Anti Craca (EP5Q4G2) fornecido pela empresa Quimatic Tapmatic foi aplicado em setembro /2017 no quadro Q4 localizado na Galeria G2. Este esquema de pintura composto de apenas uma tinta, foi aplicado com trincha após a mistura dos componentes A e B. Foi aplicada uma demão de PLASTEEL ANTI CRACA com uma espessura total de 250 µm.

O sexto esquema de pintura Plasteel Branco de Alta Resistência Química (EP6Q5G2) e (EP6Q6T) fornecido pela empresa Quimatic Tapmatic foi aplicado em setembro de 2017 e outubro de 2018 nos quadros Q5 da galeria G2 e Q6 localizado

no túnel. Este esquema de pintura composto de apenas uma tinta, foi aplicado com trincha após a mistura dos componentes A e B. Foi aplicada uma demão de PLASTEEL BRANCO com uma espessura total de 150  $\mu\text{m}$  tanto na galeria G2 quanto no túnel T.

### 3.3. PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO DA BIOINCRUSTAÇÃO, ESTRUTURA DE CONCRETO E ESQUEMAS DE PINTURA POR QUADRO ONDE FOI REMOVIDA A BIOINCRUSTAÇÃO NAS GALERIAS E TÚNEL DE DESCARGA DO SAC

Este protocolo de inspeção foi desenvolvido para avaliar:

[1] o recrutamento de bioincrustação nas superfícies interna das paredes das Galerias e Túnel e sobre os esquemas de pintura aplicados mediante medida da concentração na unidade - indivíduo por  $\text{cm}^2$ ;

[2] a patologia da estrutura das paredes de concreto armado das galerias e túnel;

[3] a patologia dos esquemas de pintura aplicados nas galerias e no túnel incluindo a tensão de aderência dos esquemas de pintura;

Cada esquema de pintura foi identificado por um código composto:

[a] das letras EP seguida da ordem de aplicação em 2017 e 2018 (EP1, EP2, EP3, EP4, EP5 e EP6);

[b] do número do quadro segundo a ordem de aplicação dos esquemas de pintura (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5 ou Q6);

[c] o número da galeria ou túnel (G1 ou G2) também segundo a ordem de aplicação dos esquemas de pintura.

Foram utilizados, na validação do Protocolo de inspeção, uma câmera fotográfica NIKON semiprofissional acoplada a uma Frame de aço inox metálico (**Figura 17**) com suporte para fixação da câmera fotográfica e um medidor de aderência com acessórios tais como os carretéis que são colados aos esquemas de

pintura para posterior extração mediante equipamento que mede a tensão de aderência do esquema de pintura ao substrato.

**Figura 17.** Câmera fotográfica NIKON semiprofissional acoplada a uma Frame de aço inox metálico 20 x 20 cm (400 cm<sup>2</sup>) para execução.



Fonte: O AUTOR, 2024.

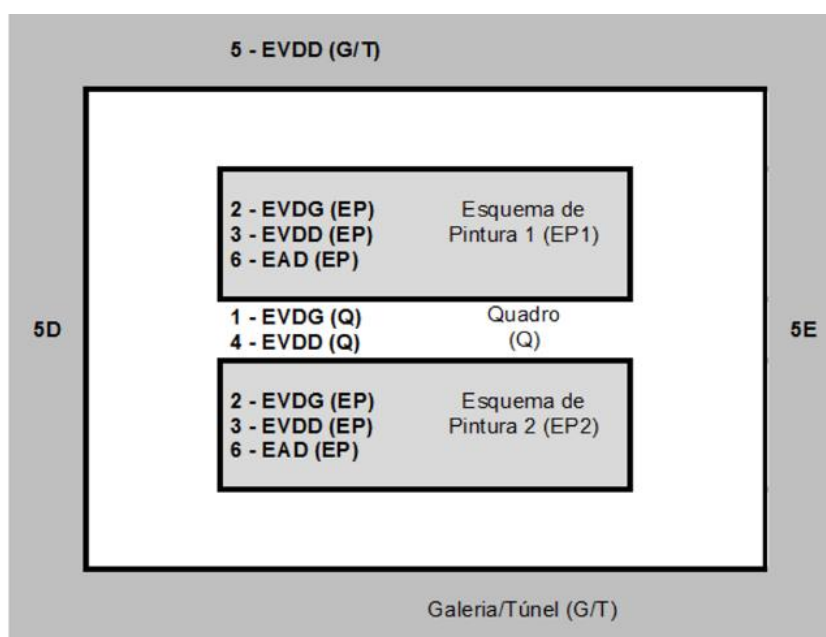
Foram testadas, no período de outubro/2018 e novembro de 2023, várias sequências de itens de inspeção na composição do protocolo, mas somente nas duas últimas inspeções feitas em outubro de 2022 e novembro de 2023 é que foi possível identificar uma sequência de seis itens que fornecem, no menor tempo possível, o maior número de informações para as avaliações previstas no protocolo de inspeção, onde foram escolhidos os parâmetros que serão considerados [1] na avaliação do recrutamento da bioincrustação na superfície interna das galerias e túnel, [2] na avaliação da patologia da estrutura das galerias e túnel e [3] na avaliação da patologia dos esquemas de pintura aplicados.

O **Quadro 5** apresenta um desenho esquemático de um quadro (Q) onde são mostrados os 6 seis itens de inspeção em cuja área foi removida a bioincrustação (BI) com área de 3 x 3 m, foram aplicados um ou dois esquemas de pintura (EP) nas galerias (G) ou túnel (T) e foram executados ensaio visual direto geral (EVDG); ensaio visual direto detalhado (EVDD) da bioincrustação, do recrutamento da bioincrustação (RBI) e das estrutura de concreto armado das paredes (ECAP) na região dos quadros

(Q) das galerias ou túnel (G/T) além de ensaio de aderência (EAD) dos esquemas de pintura.

O **Quadro 6** apresenta os possíveis resultados do Ensaio Visual de cada item do protocolo, conforme indicado na Figura 2, tomando como referência o esquema de pintura (EP) aplicado.

**Quadro 5.** Esquema da área onde foram executados os Ensaio Visuais Diretos Gerais (EVDG), os Ensaio Visuais Diretos Detalhados (EVDD) e os ensaios de Aderência dos Esquemas de Pintura (EAD) após removida a bioincrustação e aplicados os Esquemas de Pintura (EP) nas paredes das Galerias ou Túnel (G/T)



Fonte: O AUTOR, 2024.

Como mais de um parâmetro avaliado (**Quadro 6**) pode ser verificado em mais de um item do protocolo, neste quadro é feita a escolha por aquele item onde o parâmetro avaliado é melhor apresentado, considerando a distância do inspetor em relação ao local do ensaio e a representatividade do local em relação ao parâmetro avaliado.

Como foi removida a bioincrustação e aplicado esquemas de pintura em apenas um quadro no túnel, será usado, para identificação deste, apenas a letra T. Aplicando, por exemplo, a regra descrita acima, o código do primeiro esquema de pintura aplicado EP1 no quadro Q1 na galeria 1 será EP1Q1G1 a assim sucessivamente.

**Quadro 6.** Apresentação da escolha dos itens que comporão o formulário para anotações dos resultados

Itens de inspeção ref. a Q e ao EP	Parâmetro avaliado	Escolha dos itens de inspeção
1 EVDG (Q)	Visualização de Qy	SIM
	RBI sobre ECAP	NÃO. Foi escolhido o item 4
	RBI sobre EPxQyG/Tz	NÃO. Foi escolhido o item 3
	PAT.ECAP	NÃO. Foi escolhido o item 4
	PAT.EPxQyG/Tz	NÃO. Foi escolhido o item 3
2 EVDG (EP)	Visualização de ExQyGz/T	SIM
	RBI sobre EPxQyG/Tz	NÃO. Foi escolhido o item 3
	PAT.EPxQyG/Tz	NÃO. Foi escolhido o item 3
3 EVDD (EP)	RBI sobre EPxQyG/Tz	SIM
	PAT.EPxQyG/Tz	SIM
4 EVDD (Q)	RBI sobre ECAP	SIM
	PAT.ECAP	SIM
5 (5D+5E) EVDD (G/T)	BI sobre ECAP	SIM
6 EAD (EP)	TAD.EPxQyG/Tz	SIM

Fonte: O AUTOR, 2024.

Da escolha dos itens cujos parâmetros avaliados demonstrada no resultou o **Quadro 7** que mostra apenas os parâmetros escolhidos para cada item do protocolo de inspeção.

**Quadro 7.** Resultado da escolha dos itens do Protocolo de inspeção

Item da inspeção	Quadro QyGz/T EPxQyG/Tz	Parâmetro avaliado
1	EVDG (QyGz/T)	1 - Visualização do Quadro
2	EVDG (EpxQyGz/T)	2 - Visualização do Esquema de Pintura
3	EVDD (EpxQyGz/T)	3.1 - RBI sobre EPxQyG/Tz
		3.2 - PAT.EPxQyG/Tz
4	EVDD (QyGz/T)	4.1 - RBI sobre ECAP
		4.2 - PAT.ECAP
5 (3D+3E)	EVDD (Gz/T)	5 - Bioincrustação sobre a ECAP
6	EAD (EpxQyGz/T)	6 - TAD.EPxQyG/Tz

Fonte: O AUTOR, 2024.

### **3.3.1. Ensaio visual direto geral (EVDG) dos Quadros nas Galerias ou no Túnel**

O item 1 do **Quadro 7** apresenta uma visualização dos quadros onde foi removida a bioincrustação e tem a finalidade de identificar o Quadro na superfície interna das Galerias ou Túnel.

### **3.3.2. Ensaio visual direto geral (EVDG) dos EP nas Galerias ou no Túnel**

O item 2 do **Quadro 7** apresenta uma visualização do Esquema de Pintura que foi aplicado na superfície interna da estrutura das Galerias ou Túnel

Neste subitem será possível avaliar a densidade populacional da craca sobre os EP nas galerias ou no túnel e manifestações patológicas dos EP nas galerias ou no túnel. Também por se tratar de uma avaliação geral, será possível utiliza-lo apenas para visualização dos Esquemas de Pintura como uma primeira visualização de manifestações patológicas dos Esquemas de pintura.

### **3.3.3. Ensaio visual direto detalhado (EVDD) da parede das Galerias ou do Túnel**

No item 3 do **Quadro 7** é avaliado [1] o recrutamento da bioincrustação sobre o esquema de pintura cuja unidade de medida é indivíduos/cm<sup>2</sup> e [2] as manifestações patológicas do Esquema de pintura que foi aplicado na superfície interna das Galerias ou Túnel.

### **3.3.4. Ensaio visual direto detalhado (EVDD) dos Quadros nas Galerias ou no Túnel**

No item 4 do **Quadro 7** são avaliados [1] o recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação (RBI) sobre a superfície interna da estrutura de concreto armado da parede (ECAP) das Galerias ou Túnel cuja unidade de medida é indivíduos/cm<sup>2</sup> e [2] a Patologia da Estrutura de concreto armado da parede (PAT.ECAP).

### **3.3.5. Ensaio visual direto detalhado (EVDD) dos Esquemas de Pintura nas Galerias ou no Túnel**

No item 5 do **Quadro 7** é avaliada a bioincrustação existente na superfície interna da estrutura de concreto armado da parede (ECAP) das galerias ou túnel cuja unidade de medida é a espessura da bioincrustação existente, em cm.

### **3.3.6. Ensaio de Aderência (EAD) dos Esquemas de Pintura aplicados nas Galerias ou no Túnel**

No item 6 do **Quadro 7** é avaliada a tensão de aderência (TAD) dos esquemas de pintura aplicados nas galerias ou no túnel EPxQy. A combinação da patologia com a tensão de aderência fornecem dados importantes para a avaliação do desempenho dos esquemas de pintura.

Foi executado ensaio de aderência à tração (Ensaio pull-off) dos esquemas de pintura EP1Q1G1, EP2Q2G1, EP3Q2G1, EP4Q3G2, EP5Q4G2, EP6Q5G2 e EP6Q6T em janeiro/2020 e setembro/2022 que é realizado mediante utilização de um instrumento portátil pneumático cujo terminal é ligado ao instrumento por um cabo que transmite tração de arrancamento de uma peça ametalica (carretal) que é colado no esquema de pintura. O ensaio de aderência executado em 2020 foi descartado pois o adesivo escolhido apresentou uma resistência à tração muito menor que a resistência dos Esquemas de pintura, o que impossibilitou a medição da resistência à tração dos esquemas de pintura. Posteriormente foi executado, em setembro/2022, novo ensaio de aderência à tração de todos os Esquemas de pintura com um outro adesivo que possibilitou execução do ensaio de tração pois não rompeu antes dos Esquemas de Pintura

### **3.3.7. Registro dos Resultados das inspeções da Bioincrustação e respectivo recrutamento, Patologia da Estrutura de Parede de Concreto armado das Galerias e Túnel e Esquemas de Pintura aplicados**

Escolhidos os itens do protocolo para os quais serão considerados os parâmetros avaliados, apresenta-se, no quadro 6, o formulário desenvolvido para anotações dos resultados dos ensaios que é complementado pelo [1] Método para

cálculo da concentração da bioincrustação e [2] Formato de apresentação do registro fotográfico dos ensaios.

**Quadro 8.** Formulário para anotação e discussão dos Resultados dos Ensaios de avaliação do Recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das Galerias e Túnel e desempenho dos Esquemas de Pintura.

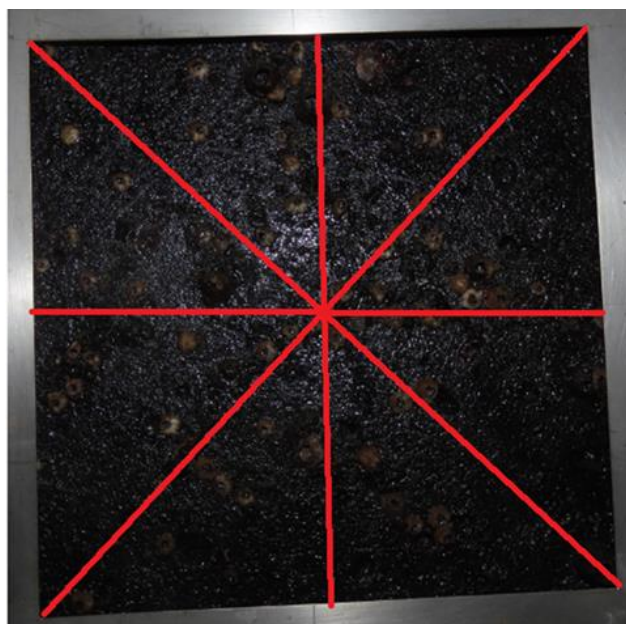
Protocolo e Parâmetro Avaliado	Resultados	Discussões	Objetivo específico
3.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre o Esquema de Pintura EpxQyGz/T aplicado no Quadro QyGz/T			Avaliação do Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre a Estrutura de Concreto Armado das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
4.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel Gz/T de descarga do SAC na região do Quadro QyGz/T			
5 - Bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel Gz/T de descarga do SAC na região externa ao Quadro QYGz/T			
1 e 4.2 - Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede da Galeria Gz/T na região do Quadro QyGz/T			Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
2, 3.2 e 6 - Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura EpxQyGz/T aplicado na superfície interna da parede da Galeria ou Túnel de descarga do SAC na região do Quadro QyGz/T			Avaliação do desempenho de cada um dos Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna da parede das Galerias de descarga do SAC

Fonte: O AUTOR, 2024.

### 3.3.8. Cálculo da concentração da bioincrustação sobre um Quadro na Galeria ou Túnel QyGz/T

A apresenta o Registro fotográfico da bioincrustação dividido em oito partes onde cada indivíduo, neste exemplo, é representado pelos pontos mais claros em cada uma das partes. A contagem do recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação para o cálculo da respectiva concentração foi feita mediante o somatório do número de indivíduos em cada uma das partes (**Figura 18**).

**Figura 18.** Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede das Galerias ou Túnel



Fonte: O AUTOR, 2024.

### **3.3.9. Registro fotográfico da inspeção do quadro QyGz/T onde foi aplicado o esquema de pintura ExQyGz/T**

Nesta seção são apresentados os Registros fotográficos dos Ensaio Visuais de cada Quadro sempre referenciado a um único Esquema de Pintura, em três grupos de fotos.

No primeiro grupo é apresentada comparação: [1] da Visualização do Quadro QyGz/T em 09/2017 ou 10/2018 quando foi removida a bioincrustação e aplicados os Esquemas de Pintura com [2] a Visualização do Quadro QyGz/T em 11/2023, seis anos após a remoção da bioincrustação e aplicação dos Esquemas de Pintura.

No segundo grupo é apresentada comparação do [1] registro fotográfico da bioincrustação sobre as paredes das Galerias ou Túnel (Gz/T) com o [2] registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação na região dos Quadros nas Galerias ou Túnel (QyGz/T).

No terceiro grupo são apresentados os Registros fotográficos [1] da Patologia das estruturas de concreto das paredes na região dos Quadros das Galerias ou Túnel

QyGz/T e logo abaixo [2] da Patologia e Tensão de aderência dos Esquemas de Pintura (EPxQyGz/T) aplicados nos Quadros das Galerias ou Túnel.

### **3.3.10. Modelo para a Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna das Galerias e Túnel, nos Quadro Qy onde foi removida a bioincrustação e aplicados os Esquemas de Pintura EPxQyGz/T**

Os itens de 1 a 6 do Protocolo de inspeção desenvolvido fornecem informações que serão utilizados nas discussões dos resultados das inspeções e conclusões relacionadas aos objetivos gerais, em três aspectos, a saber: [1] Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre as estruturas e Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna das Galerias e Túnel da descarga do SAC, [2] Avaliação da Patologia das Estrutura de Concreto Armados da Parede das Galerias e Túnel e [3] Avaliação da Patologia dos Esquemas de Pintura aplicados no Quadros das Galerias e Túnel, conforme mostrado a seguir.

O primeiro aspecto das discussões, descrito nos itens 3.1, 4.1 e 5 do Protocolo de inspeção, deve considerar [1] o Recrutamento de novos indivíduos da Bioincrustação sobre o Esquema de Pintura EPxQyGz/T nos Quadros das Galerias ou Túnel QyGz/T , [2] o Recrutamento da bioincrustação de novos indivíduos da Bioincrustação sobre os Quadros das Galerias ou Túnel QyGz/T e [3] a Bioincrustação sobre Estrutura de Concreto Armado da Parede das Galerias ou Túnel Gz/T, respectivamente, para avaliação do Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre as estruturas e Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna das Galerias e Túnel da descarga do SAC.

O segundo aspecto das discussões, descrito nos itens 1 e 4.2 do do Protocolo de inspeção, considera a Patologia da Estrutura de Concreto Armado da Parede (ECAP) das Galerias ou Túnel (Gz/T) para Avaliação da Patologia das Estrutura de Concreto Armados da Parede das Galerias e Túnel.

O terceiro aspecto das discussões, descrito nos itens 1, 3.2 e 6 do Protocolo de inspeção, considera [1] a Patologia do Esquema de Pintura EPxQyGz/T aplicado no Quadro Gz/T; e [2] Tensão de aderência do Esquema de Pintura EPxQyGz/T,

respectivamente, para Avaliação da Patologia dos Esquemas de Pintura aplicados no Quadros das Galerias e Túnel.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CLASSIFICAÇÃO DA BIOINCRUSTAÇÃO NAS GALERIAS E TÚNEL DE DESCARGA DO SAC

Após recebida no LMA, a amostra da bioincrustação foi limpa e separada para o registro fotográfico e posterior classificação segundo o critério morfológicos, onde foram identificadas, ao final do processo de classificação, as espécies *Megabalanus Coccopoma* predominante nas Galerias e o vermetídeo *Petalconchus varians* predominante no Túnel, conforme mostra a Figura 19.

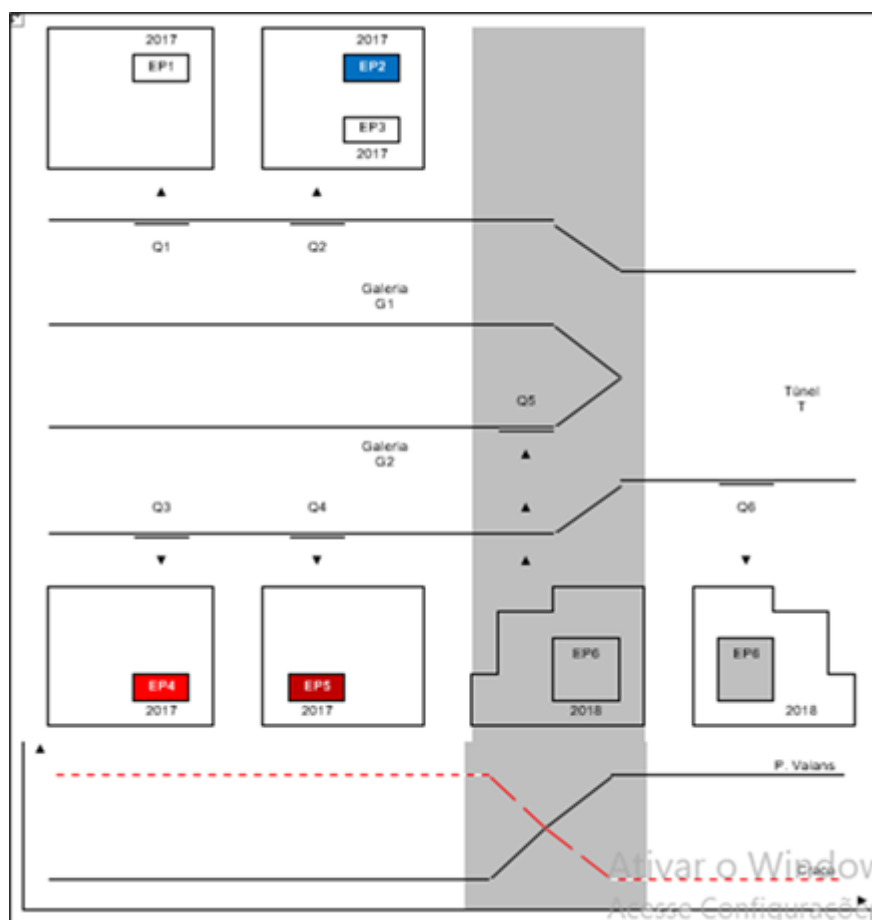
**Figura 19.** Amostra da bioincrustação utilizada pelo LMA para a execução da classificação.



Fonte: O AUTOR.

Na correlação do resultado da classificação taxonômica com a observação de campo podemos afirmar que a craca da espécie *Megabalanus coccopoma* predomina na bioincrustação das Galerias e o vermetídeo *Petalconchus varians* predomina na bioincrustação do túnel de descarga do SAC. Já na área de transição entre a área das galerias e a área do túnel, notamos uma codominância das duas espécies na bioincrustação desta área. A **Figura 20** ilustra as predominancia citadas neste parágrafo.

**Figura 20** - Gráfico mostrando a predominância da craca da espécie *Megabalanus Coccopoma* (curva tracejada) na área das galerias e do vermetídeo da espécie *Petalocochus varians* (curva contínua) na área do túnel



Fonte: O AUTOR, 2024.

#### 4.1. RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q1G1 E EP1Q1G1 - ESQUEMA DE PINTURA (MC-DUR 2496 CTP) DO FORNECEDOR MC-BAUCHEMIE BRASIL

##### 4.1.1. Registro da inspeção do Recrutamento da Bioincrustação sobre o Quadro Q1G1, Patologia da Estrutura de Concreto da Parede da Galerias G1 e Desempenho do Esquema de Pintura EP1Q1G1

Os **Quadros 9 e 10** apresentam [1] o resultado da inspeção do Recrutamento da bioincrustação pela craca da espécie *Megabalanus Coccopoma* na parede da Galeria G1 na região do Quadro Q1G1 onde foi removida a bioincrustação, [1] o resultado da avaliação da Patologia da estrutura da parede de concreto armado da Galeria G1 na região do Quadro Q1G1 e [3] o resultado da inspeção de patologia do esquema de pintura EP1Q1G1 aplicado no Quadro Q1G1.

**Quadro 9.** Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura.

Protocolo e Parâmetro Avaliado	Resultados	Discussões	Objetivo específico
3.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre o Esquema de Pintura EP1Q1G1 aplicado no Quadro Q1G1	Início de recrutamento da espécie Megabalanus Coccopoma nas bordas do Esquema de pintura EP1Q1G1	Embora o ciclo de vida da craca seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento na descarga do SAC iniciou com seis anos após a remoção da bioincrustação. Esse atraso no desenvolvimento no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.	Avaliação do Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre a Estrutura de Concreto Armado das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
4.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G1 de descarga do SAC na região do Quadro Q1G1	Recrutamento da espécie Megabalanus Coccopoma com Concentração de 0,16 indivíduos/m <sup>2</sup>		
5 - Bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G1 de descarga do SAC na região externa ao Quadro Q1G1	Bioincrustação permanece com a espessura de 5 cm encontrada em setembro/2017		

Fonte: O AUTOR, 2024.

**Quadro 10.** Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura.

1 e 4.2 - Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede da Galeria G1 na região do Quadro Q1G1	Não foi observada manifestação patológica na área do Quadro Q1G1	Estrutura da parede de concreto armado da Galeria G1 não apresentou degradação na área do Quadro Q1G1	Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
2, 3.2 e 6 - Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura EP1Q1G1 aplicado na superfície interna da parede da Galeria ou Túnel de descarga do SAC na região do Quadro Q1G1	Formação de bolhas densa generalizada de tamanho 2. A formação de bolhas impediu o Ensaio de aderência à tração do Esquema de pintura	Formação de bolhas formada pela pressão de vapor pela falta de barreira de vapor	Avaliação do desempenho de cada um dos Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna da parede das Galerias de descarga do SAC

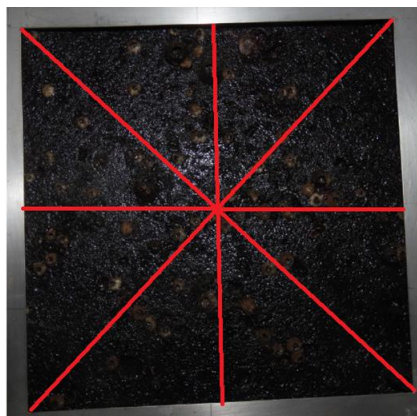
Fonte: O AUTOR, 2024.

#### 4.1.2. Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q1G1 na Galeria G1

A **Figura 21** apresenta o registro fotográfico da bioincrustação dividido em 8 partes onde cada indivíduo é representado pelos pontos mais claros em cada uma das partes. A contagem do recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação para

o cálculo da respectiva concentração foi feita mediante o somatório do número de indivíduos em cada uma das partes.

**Figura 21.** Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria G1 na região do Quadro Q1.



Fonte: O AUTOR, 2024.

No caso do Quadro Q1G1 onde foi aplicado o esquema de pintura EP1Q1G1, na Galeria G1, a concentração do recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria G1 na região do Quadro Q1G1 é igual ao número de indivíduos contados na área do frame (63) dividido pela área do Frame ( $400 \text{ cm}^2$ ) o que resulta numa concentração de  $0,16 \text{ indivíduos/cm}^2$ .

#### **4.1.3. Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q1G1 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP1Q1G1**

Nesta seção são apresentados os Registros fotográficos dos Ensaio Visuais do Quadro Q1G1 referenciado ao esquema de pintura EP1Q1G1, em três grupos de fotos.

O primeiro grupo apresenta comparação [1] do Quadro Q1G1 em setembro de 2017 quando foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquemas de Pintura EP1Q1G1 com [2] o Quadro Q1G1 em novembro de 2023 (**Figura 22**);

O segundo grupo apresenta comparação [1] do registro fotográfico da bioincrustação sobre as paredes da Galeria G1 com [2] o registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação sobre a Galeria G1 (**Figura 23**).

No terceiro grupo são apresentados [1] o Registro fotográfico da Patologia das estruturas de concreto das paredes na região do Quadro Q1G1 da Galeria G1 e logo abaixo [2] o Registro fotográfico da Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura (EP1Q1G1) aplicados no Quadro Q1G1 (**Figura 24**).

**Figura 22.** Registro fotográfico da comparação da Visualização do Quadro Q1G1 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo Quadro Q1G1 em novembro de 2023



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 23.** Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G1 com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q1G1



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 24.** Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado das paredes da Galeria G1 e da patologia do esquema de pintura EP1Q1G1 aplicado no quadro Q1G1 na galeria G1



Fonte: O AUTOR, 2024.

#### **4.1.4. Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna da Galeria G1, no Quadro Q1G1 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquema de Pintura EP1Q1G1**

Foi observado recrutamento de novos indivíduos da espécie *Megabalanus coccopoma* nas bordas do esquema de pintura EP1Q1G1 numa fase inicial; nos quadros onde foi removida a bioincrustação atingindo concentração de 0,16 indivíduos/cm<sup>2</sup> em novembro de 2023. A bioincrustação pela espécie *Megabalanus coccopoma* nas áreas das galerias onde não foi removida permanece com espessura de 5 cm encontrada em setembro de 2017.

Embora o ciclo de vida da craca da espécie *Megabalanus coccopoma* seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento de novos indivíduos na superfície interna da parede da descarga do SAC iniciou seis anos após a remoção da bioincrustação, em novembro de 2023. Esse atraso no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.

O Ensaio Visual Direto na superfície interna da estrutura de concreto armado das paredes da Galeria G1 não detectou degradações na área do Quadro Q1G1 e a formação de bolhas densa generalizada de tamanho 2 observada no Esquema da pintura EP1Q1G1 em razão da pressão de vapor da umidade que ingressou na estrutura da parede da Galeria G1 impediu a colagem dos dolly e a execução do Ensaio de aderência à tração do Esquema de pintura.

#### **4.2. RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q2G1 E EP2Q2G1 - ESQUEMA DE PINTURA (PLASTEEL CERÂMICO AZUL PINTÁVEL) DO FORNECEDOR QUIMATIC TAPMATIC**

O Resultado da inspeção do Quadro Q2G1 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP2Q2G1 está dividido em quatro partes. A primeira parte apresenta [1] o Registro da inspeção; a segunda parte apresenta [2] o Registro fotográfico da inspeção; a terceira parte apresenta [3] o cálculo da concentração da bioincrustação sobre a parede da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1 e a quarta parte apresenta [4] a Discussão dos resultados da inspeção.

#### 4.2.1. Registro da inspeção do Recrutamento da Bioincrustação sobre o Quadro Q2G1, Patologia da Estrutura de Concreto da Parede da Galerias G1 e Desempenho do Esquema de Pintura EP2Q2G1

O **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta [1] o resultado da inspeção do Recrutamento da bioincrustação pela craca da espécie *Megabalanus Coccopoma* na parede da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1 onde foi removida a bioincrustação, [1] o resultado da avaliação da Patologia da estrutura da parede de concreto armado da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1 e [3] o resultado da inspeção de patologia do esquema de pintura EP2Q2G1 aplicado no Quadro Q2G1.

**Quadro 11.** Registro fotográfico da Patologia da estrutura de concreto armado da parede da Galeria G1 e da Patologia do Esquema de Pintura EP1Q1G1 aplicado no Quadro Q1G1 na Galeria G1

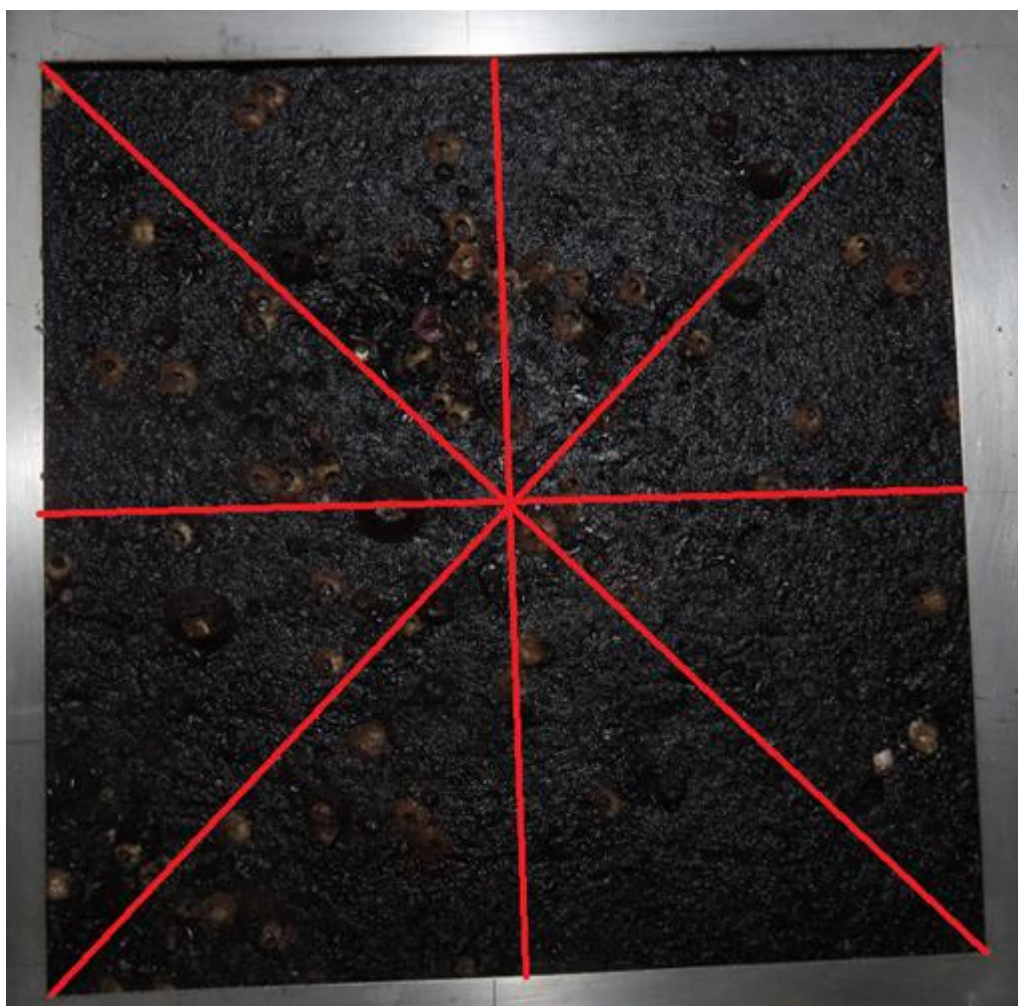
Protocolo e Parâmetro Avaliado	Resultados	Discussões	Objetivo específico
3.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre o Esquema de Pintura EP2Q2G1 aplicado no Quadro Q2G1	Início de recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> nas bordas do Esquema de pintura EP1Q2G1	Embora o ciclo de vida da craca seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento na descarga do SAC iniciou com seis anos após a remoção da bioincrustação. Esse atraso no desenvolvimento no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.	Avaliação do Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre a Estrutura de Concreto Armado das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
4.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G1 de descarga do SAC na região do Quadro Q2G1	Foi detectado Recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> em novembro/2023 quando apresentou concentração de 0,16 indivíduos/m <sup>2</sup>		
5 - Bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G1 de descarga do SAC na região externa ao Quadro Q2G1	Bioincrustação pela craca da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> permanece com a espessura de 5 cm encontrada em setembro/2017		
1 e 4.2 - Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1	Não foram observadas manifestações patológicas na parede de concreto armado da Galeria G1 na área do Quadro Q2G1	Estrutura da parede de concreto armado da Galeria G1 não apresentou degradação na área do Quadro Q2G1	Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede das Galerias e Túnel de descarga do SAC
2, 3.2 e 6 - Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura EP2Q2G1 aplicado na superfície interna da parede da Galeria ou Túnel de descarga do SAC na região do Quadro Q2G1	Não foram observadas manifestações patológicas sobre o Esquema de pintura EP2Q2G1 que apresentou tensão de aderência de 2,9 MPa com natureza da falha A/B	Esquema de pintura EP2Q2G1 não apresentou degradação	Avaliação do desempenho dos Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna da parede das Galerias ou Túnel de descarga do SAC

Fonte: O AUTOR, 2024.

#### 4.2.2. Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q2G1 na Galeria G1

A **Figura 25** apresenta o Registro fotográfico da bioincrustação dividido em 8 partes onde cada indivíduo é representado pelos pontos mais claros em cada uma das partes. A contagem do recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação para o cálculo da respectiva concentração foi feita mediante o somatório do número de indivíduos em cada uma das partes.

**Figura 25.** Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria 1 na região do Quadro Q2G1



Fonte: O AUTOR, 2024.

No caso do Quadro Q2G1 onde foi aplicado o esquema de pintura EP2Q2G1, na Galeria G1, a concentração do recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1 é igual ao número de indivíduos contados na área do Frame (65) dividido pela área do Frame ( $400 \text{ cm}^2$ ) o que resulta numa concentração de  $0,16 \text{ indivíduos/cm}^2$ .

Interessante notar [1] que a maior concentração da espécie *Megabalanus Coccopoma* no Quadro Q2G1 onde a contagem do recrutamento de novos indivíduos resultou em 65 indivíduos, foi igual à maior concentração da espécie *Megabalanus Coccopoma* no Quadro Q1G1 onde a contagem do recrutamento foi igual a 63 indivíduos e [2] que embora muitíssimo baixa, aconteceu recrutamento de novos indivíduos da espécie *Petalonchus varians* na Galeria G1 onde a dominância é da craca.

#### **4.2.3. Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q2G1 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP2Q2G1**

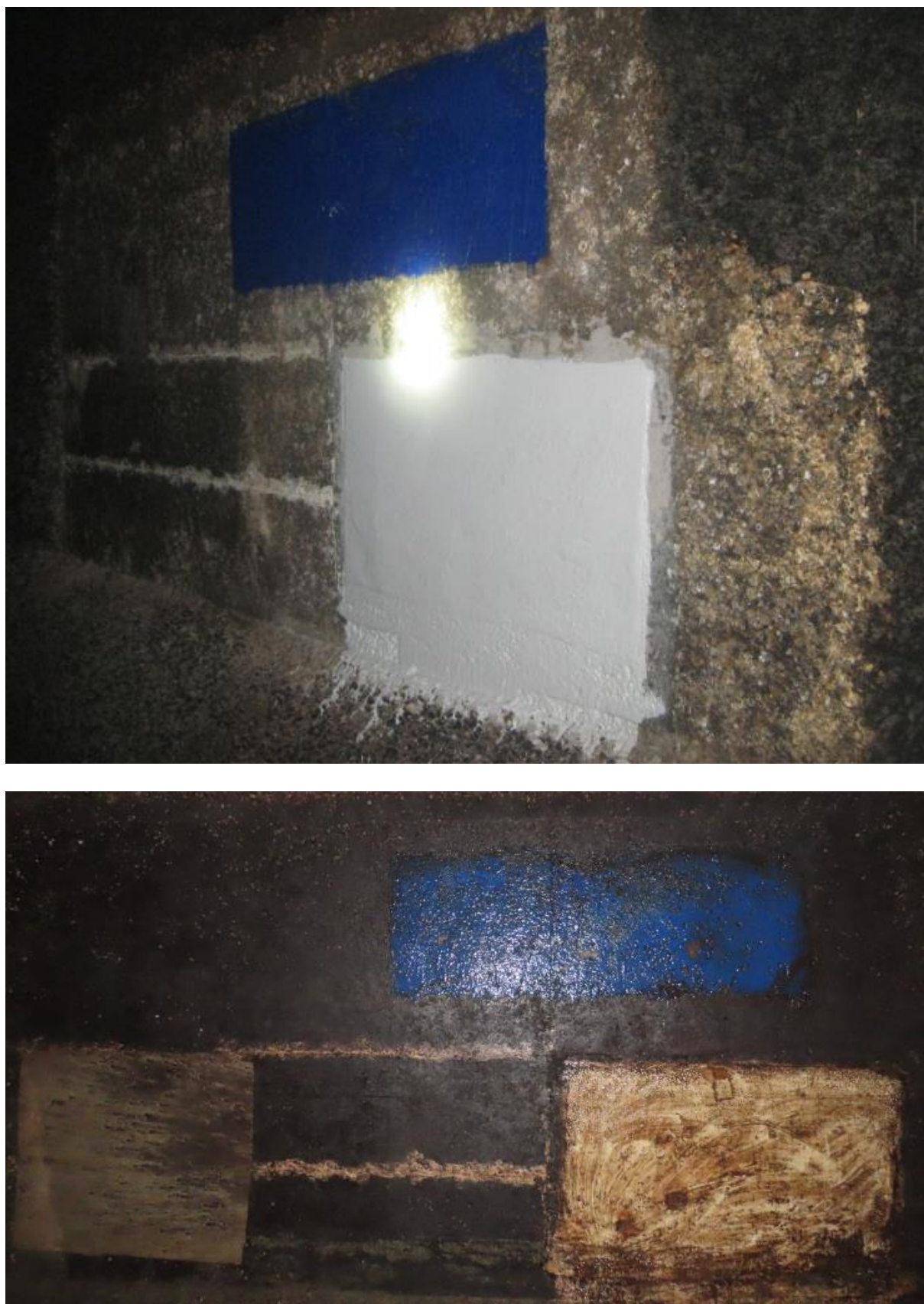
Nesta seção são apresentados os Registros fotográficos dos Ensaio Visuais do Quadro Q2G1 referenciado ao esquema de pintura EP2Q2G1, em três grupos de fotos.

O primeiro grupo apresenta comparação [1] do Quadro Q2G1 em setembro de 09/2017 quando foi removida a bioincrustação e aplicado o esquemas de pintura EP2Q2G1 com [2] o Quadro Q2G1 em novembro de 2023 (**Figura 26**).

O segundo grupo apresenta comparação [1] do registro fotográfico da bioincrustação sobre as paredes da Galeria G1 com [2] o registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação sobre a Galeria G1 com (**Figura 27**).

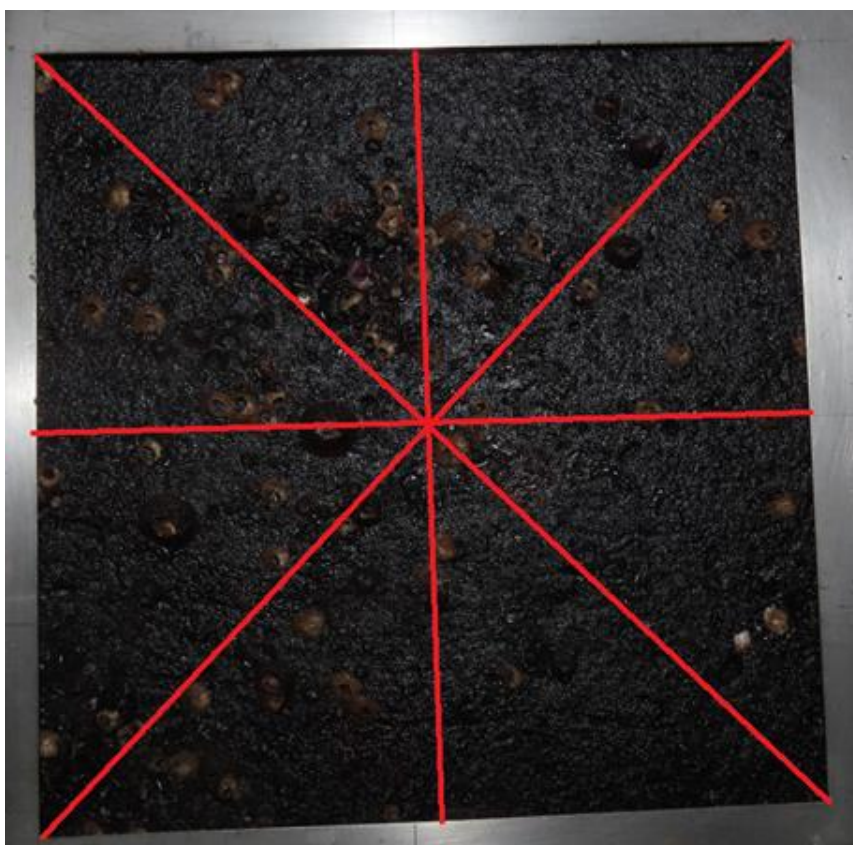
No terceiro grupo são apresentados [1] o Registro fotográfico da Patologia das estruturas de concreto das paredes na região do Quadro Q2G1 da Galeria G1 e logo abaixo [2] o Registro fotográfico da Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura (EP2Q2G1) aplicados no Quadro Q2G1 (Figura 28).

**Figura 26.** Registro fotográfico da comparação da visualização do Quadro Q2G1 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo Quadro Q1G1 em novembro de 2023.



Fonte: O AUTOR, 2023.

**Figura 27.** Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G1 com o recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q2G1 e com o recrutamento da bioincrustação sobre o esquema de pintura EP2Q2G1.



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 28.** Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado da parede da Galeria G1 e da patologia do esquema de pintura EP2Q2G1 aplicado no Quadro Q2G1 na Galeria G1.



Fonte: O AUTOR, 2024.

#### **4.2.4. Discussão dos resultados da inspeção na superfície interna da Galeria G1, no Quadro Q2G1 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o esquema de pintura EP2Q2G1**

Foi observado recrutamento de novos indivíduos da espécie *Megabalanus coccopoma* nas bordas do esquema de pintura EP1Q1G1 numa fase inicial; nos quadros onde foi removida a bioincrustação atingindo concentração de 0,16 indivíduos/cm<sup>2</sup> em novembro de 2023. A bioincrustação pela espécie *Megabalanus coccopoma* nas áreas das Galerias onde não foi removida permanece com espessura de 5 cm encontrada em setembro de 2017.

Embora o ciclo de vida da craca da espécie *Megabalanus coccopoma* seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento de novos indivíduos na superfície interna da parede da descarga do SAC iniciou seis anos após a remoção da bioincrustação, em novembro de 2023. Esse atraso no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.

Não foram detectadas degradações no Ensaio Visual Direto da superfície interna da estrutura de concreto armado das paredes da Galeria G1 e no Esquema de pintura EP2Q2G1 que apresentou Tensão de aderência de 2,9 MPa com natureza da falha A/B.

#### **4.3. RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q2G1 E EP3Q2G1 - ESQUEMA DE PINTURA (ICOSIT K101 TW) DO FORNECEDOR SIKA BRASIL**

O Resultado da inspeção do Quadro Q2G1 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP3Q2G1 está dividido em quatro partes. A primeira parte apresenta [1] o Registro da inspeção; a segunda parte apresenta [2] o Registro fotográfico da inspeção; a terceira parte apresenta [3] o cálculo da concentração da bioincrustação sobre a parede da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1 e a quarta parte apresenta [4] a Discussão dos resultados da inspeção.

#### 4.3.1. Registro da inspeção do recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q1G1, patologia da estrutura de concreto da parede da galeria G1 e desempenho do esquema de pintura EP3Q2G1

Os **Quadros 12 e 13** apresentam [1] o resultado da inspeção do Recrutamento da bioincrustação pela craca da espécie *Megabalanus Coccopoma* na parede da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1 onde foi removida a bioincrustação, [1] o resultado da avaliação da Patologia da estrutura da parede de concreto armado da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1 e [3] o resultado da inspeção de patologia do esquema de pintura EP3Q2G1 aplicado no Quadro Q2G1. Usando a mesma metodologia descrita anteriormente.

**Quadro 12.** Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura.

Protocolo e Parâmetro Avaliado	Resultados	Discussões	Objetivo específico
3.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre o Esquema de Pintura EP3Q2G1  aplicado no Quadro Q2G1	Início de recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> nas bordas do Esquema de pintura EP1Q2G1	Embora o ciclo de vida da craca seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento na descarga do	
4.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G1 de descarga do SAC na região do Quadro Q2G1	Foi detectado Recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> em novembro/2023 quando apresentou concentração de 0,16 indivíduos/m <sup>2</sup>	SAC iniciou com seis anos após a remoção da bioincrustação. Esse atraso no desenvolvimento no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido	Avaliação do Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre a Estrutura de Concreto Armado das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
5 - Bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G1 de descarga do SAC na região externa ao Quadro Q2G1	Bioincrustação pela craca da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> permanece com a espessura de 5 cm encontrada em setembro/2017	provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.	

Fonte: O AUTOR, 2024.

**Quadro 13.** Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura.

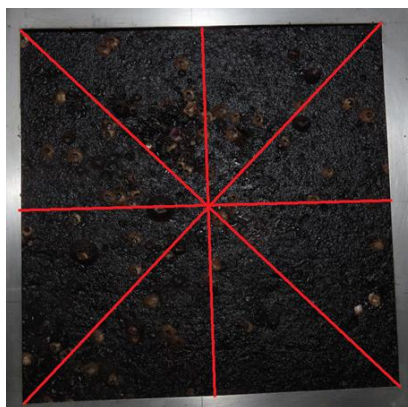
1 e 4.2 - Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1	Não foram observadas manifestações patológicas na parede de concreto armado da Galeria G1 na área do Quadro Q2G1	Estrutura da parede de concreto armado da Galeria G1 não apresentou degradação na área do Quadro Q2G1	Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
2, 3.2 e 6 - Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura EP3Q2G1 aplicado na superfície interna da parede da Galeria ou Túnel de descarga do SAC na região do Quadro Q2G1	Formação de bolhas densa generalizada de tamanho 2 e Tensão de aderência de 7,9 MPa com natureza da falha 8% B e 20% B/C	Esquema de pintura EP3Q2G1 apresentou formação de bolhas localizada no centro superior (janeiro/2020) que evoluiu para generalizada em novembro/2023	Avaliação do desempenho de cada um dos Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna da parede das Galerias de descarga do SAC

Fonte: O AUTOR, 2024.

#### 4.3.2. Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q2G1 na Galeria G1

No caso do Quadro Q1G1 onde foi aplicado o esquema de pintura EP3Q2G1, na Galeria G1, a concentração do recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria G1 na região do Quadro Q2G1 é igual ao número de indivíduos contados na área do frame (63) dividido pela área do Frame (400 cm<sup>2</sup>) o que resulta numa concentração de 0,16 indivíduos/ cm<sup>2</sup> (**Figura 29**).

**Figura 29.** Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria 1 na região do Quadro Q2G1



Fonte: O AUTOR, 2024.

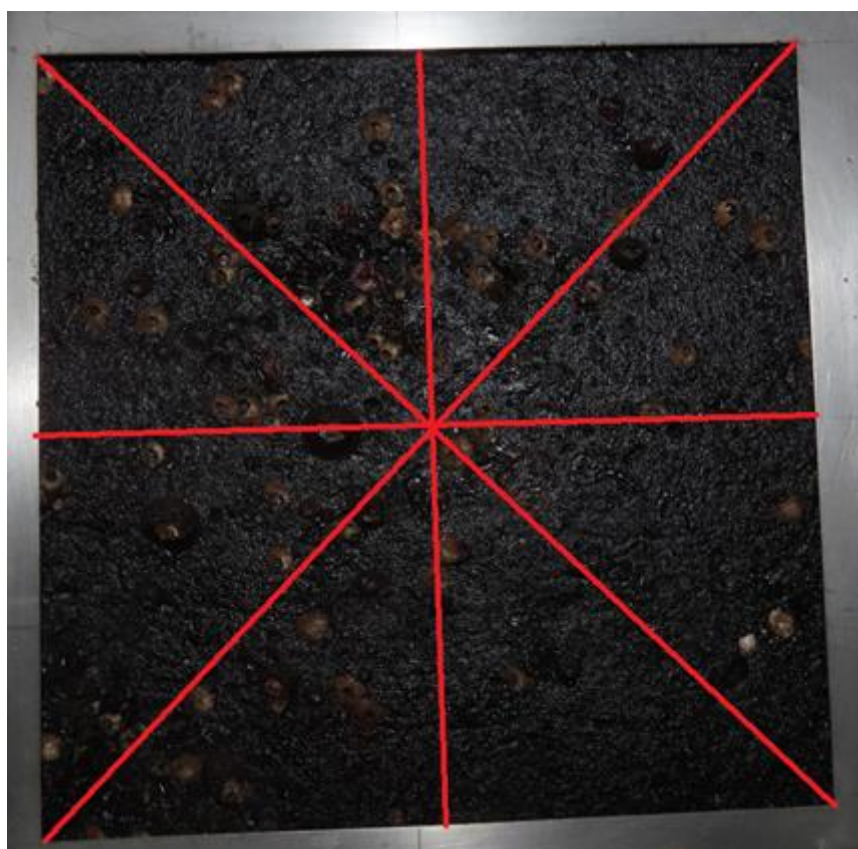
### 4.3.3. Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q2G1 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP3Q2G1

Nesta seção são apresentados os Registros fotográficos dos Ensaio Visuais do Quadro Q2G1 referenciado ao esquema de pintura EP3Q2G1, em três grupos de fotos (**Figuras 30, 31 e 32**).

**Figura 30.** Registro fotográfico da comparação da visualização do quadro Q2G1 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo quadro Q2G1 em novembro de 2023.

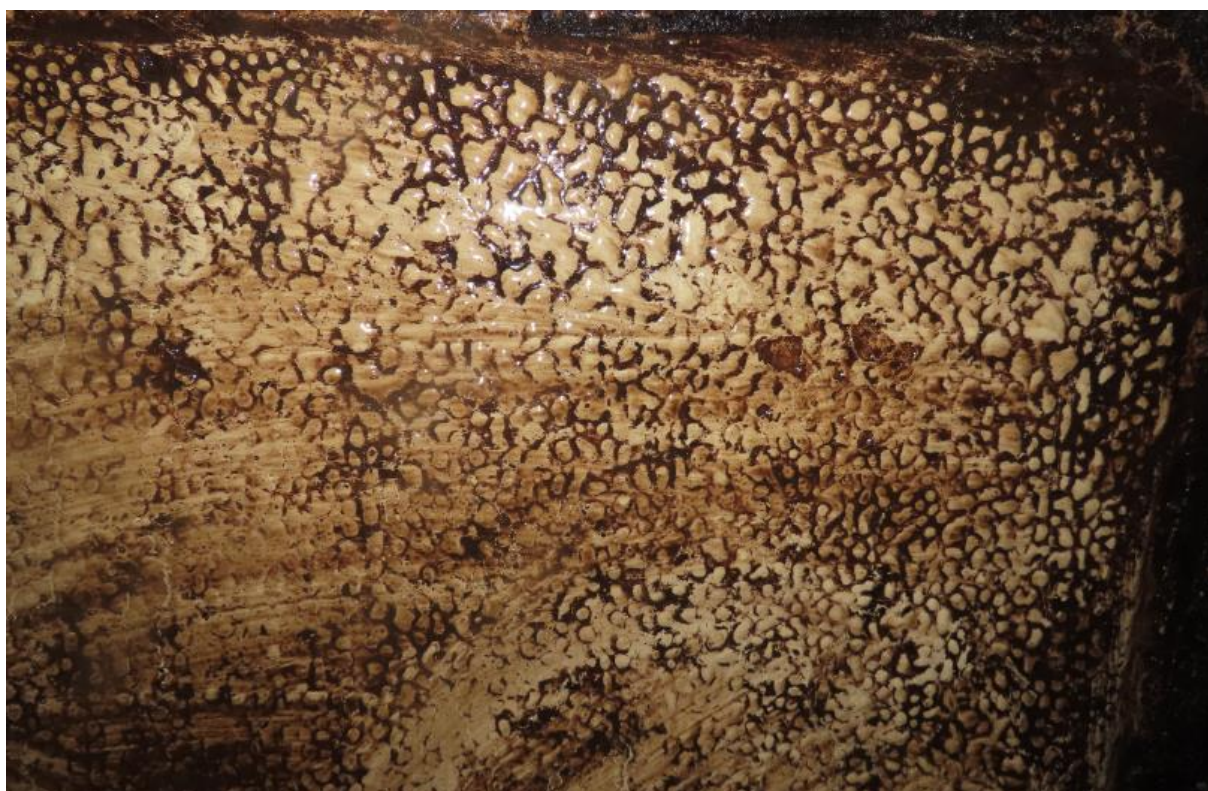


**Figura 31.** Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G1 com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q2G1.



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 32.** Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado da parede da Galeria G1 e da patologia do esquema de pintura EP3Q2G1 aplicado no quadro Q2G1 na galeria G1.



Fonte: O AUTOR, 2024.

#### **4.3.4. Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna da Galeria G1, no Quadro Q2G1 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquema de Pintura EP3Q2G1**

Foi observado recrutamento de novos indivíduos da espécie *Megabalanus coccopoma* nas bordas do esquema de pintura EP3Q2G1 numa fase inicial; nos quadros onde foi removida a bioincrustação atingindo concentração de 0,16 indivíduos/cm<sup>2</sup> em novembro de 2023. A bioincrustação pela espécie *Megabalanus coccopoma* nas áreas das Galerias onde não foi removida permanece com espessura de 5 cm encontrada em setembro de 2017.

Embora o ciclo de vida da craca da espécie *Megabalanus coccopoma* seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento de novos indivíduos na superfície interna da parede da descarga do SAC iniciou seis anos após a remoção da bioincrustação, em novembro de 2023. Esse atraso no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.

O Ensaio Visual Direto na superfície interna da estrutura de concreto armado das paredes da Galeria G1 não detectou degradações na Galeria G1 na região do Quadro Q2G1 mas este mesmo ensaio detectou formação de bolhas localizada no centro superior (janeiro/2020) da aplicação do Esquema de pintura EP3Q2G1 que evoluiu para generalizada em novembro de 2023, demonstrando a degradação do Esquema de pintura neste período de seis anos que indica estar relacionado à vida útil do Esquema de pintura que apresentou, em setembro de 2022, Tensão de aderência de 7,9 MPa com natureza da falha 8% B e 20% B/C.

#### **4.4. RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q3G2 E EP4Q3G2 - ESQUEMA DE PINTURA (INTERSLEEK 100 SR) DO FORNECEDOR AKZO NOBEL**

O Resultado da inspeção do Quadro Q3G2 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP4Q3G2 está dividido em quatro partes. A primeira parte apresenta [1] o Registro da inspeção; a segunda parte apresenta [2] o Registro fotográfico da inspeção; a terceira parte apresenta [3] o cálculo da concentração da bioincrustação

sobre a parede da Galeria G2 na região do Quadro Q3G2 e a quarta parte apresenta [4] a Discussão dos resultados da inspeção.

#### 4.4.1. Registro da inspeção do recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q3G2, patologia da estrutura de concreto da parede da galeria G2 e desempenho do esquema de pintura EP4Q3G2

Os **Quadros 14 e 15** apresentam [1] o resultado da inspeção do Recrutamento da bioincrustação pela craca da espécie *Megabalanus Coccopoma* na parede da Galeria G2 na região do Quadro Q3G2 onde foi removida a bioincrustação, [1] o resultado da avaliação da Patologia da estrutura da parede de concreto armado da Galeria G2 na região do Quadro Q3G2 e [3] o resultado da inspeção de patologia do esquema de pintura EP4Q3G2 aplicado no Quadro Q3G2.

**Quadro 14.** Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura.

Protocolo e Parâmetro Avaliado	Resultados	Discussões	Objetivo específico
3.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre o Esquema de Pintura EP4Q3G2 aplicado no Quadro Q3G2	Início de recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> nas bordas do Esquema de pintura EP4Q3G2	Embora o ciclo de vida da craca seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento na descarga do	Avaliação do Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre a Estrutura de Concreto Armado das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
4.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G2 de descarga do SAC na região do Quadro Q3G2	Foi detectado Recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> em novembro/2023 quando apresentou concentração de 0,26 indivíduos/m <sup>2</sup>	SAC iniciou com seis anos após a remoção da bioincrustação. Esse atraso no desenvolvimento no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido	
5 - Bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G2 de descarga do SAC na região externa ao Quadro Q3G2	Bioincrustação pela craca da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> permanece com a espessura de 5 cm encontrada em setembro/2017	provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.	

Fonte: O AUTOR, 2024.

**Quadro 15.** Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das galerias e túnel e desempenho dos esquemas de pintura.

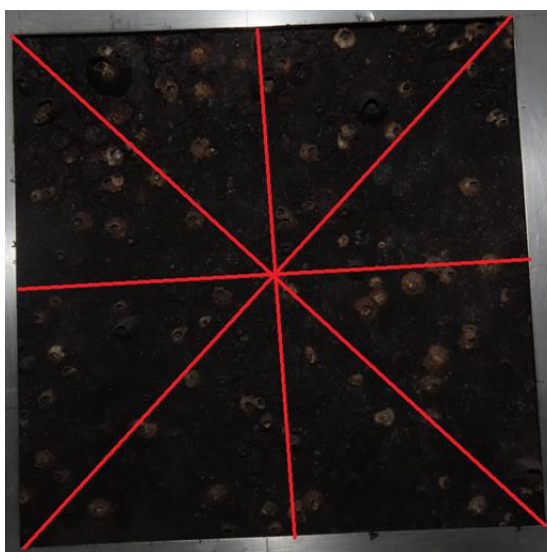
1 e 4.2 - Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede da Galeria G2 na região do Quadro Q3G2	Não foram observadas manifestações patológicas na parede de concreto armado da Galeria G2 na área do Quadro Q3G2	Estrutura da parede de concreto armado da Galeria G2 não apresentou degradação na área do Quadro Q3G2	Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
2, 3.2 e 6 - Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura EP4Q3G2 aplicado na superfície interna da parede da Galeria ou Túnel de descarga do SAC na região do Quadro Q3G2	Delaminação parcial na borda do Esquema de pintura EP4Q3G2 contra o fluxo da água do mar e entre a tinta da fundo e a de acabamento e tensão de aderência 2,4 MPa com natureza da falha A/B	A delaminação entre as tintas do Esquema de pintura EP4Q3G2 e a tensão de aderência 2,4 MPa com natureza de falha A/B indica a necessidade de substituir uma das tintas.	Avaliação do desempenho de cada um dos Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna da parede das Galerias de descarga do SAC

Fonte: O AUTOR, 2024.

#### 4.4.2. Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q3G2 na Galeria G2

A **Figura 33** **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o registro fotográfico da bioincrustação dividido em 8 partes onde cada indivíduo é representado pelos pontos mais claros em cada uma das partes. A contagem do recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação para o cálculo da respectiva concentração foi feita mediante o somatório do número de indivíduos em cada uma das partes.

**Figura 33.** Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria G2 na região do Quadro Q3G2



Fonte: O AUTOR, 2024.

No caso do Quadro Q3G2 onde foi aplicado o esquema de pintura EP4Q3G2, na Galeria G2, a concentração do recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria G2 na região do Quadro Q3G2 é igual ao número de indivíduos contados na área do frame (106) dividido pela área do Frame (400 cm<sup>2</sup>) o que resulta numa concentração de 0,26 indivíduos/cm<sup>2</sup>.

#### **4.4.3. Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q3G2 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP4Q3G2**

Nesta seção são apresentados os Registros fotográficos dos Ensaio Visuais do Quadro Q3G2 referenciado ao esquema de pintura EP4Q3G2, em três grupos de fotos.

O primeiro grupo apresenta comparação [1] do Quadro Q3G2 em setembro de 2022 quando foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquemas de Pintura EP4Q3G2 com [2] o Quadro Q3G2 em novembro de 2023 (**Figura 34**).

O segundo grupo apresenta comparação [1] do registro fotográfico da bioincrustação sobre as paredes da Galeria G2 com [2] o registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação sobre a Galeria G2 (**Figura 35**).

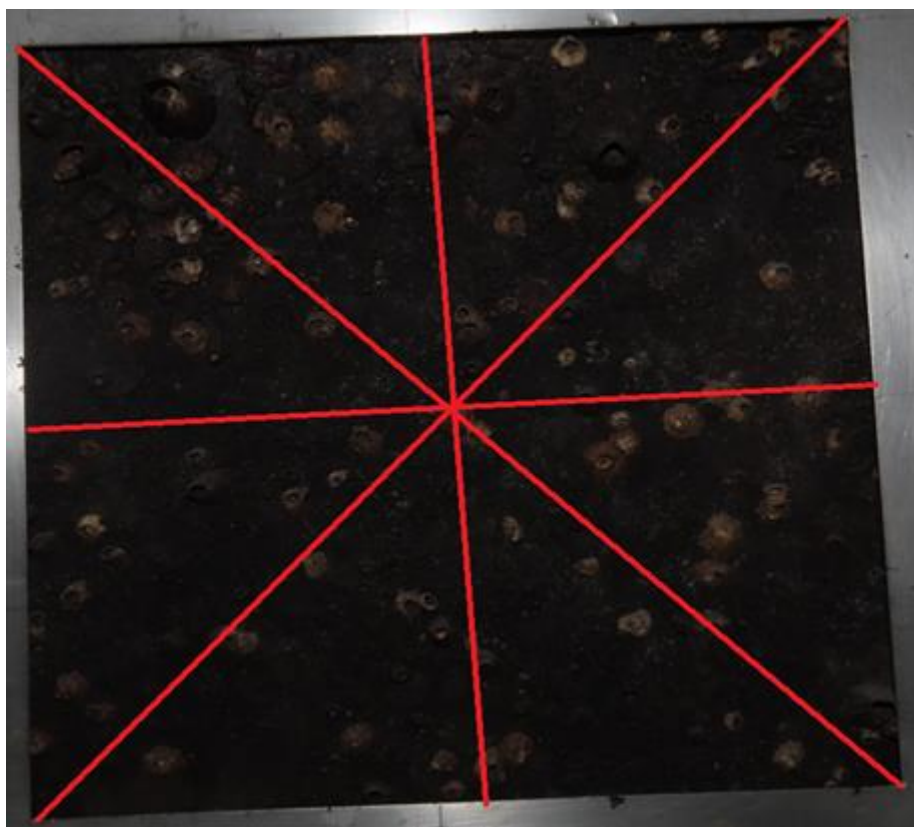
No terceiro grupo são apresentados [1] o Registro fotográfico da Patologia das estruturas de concreto das paredes na região do Quadro Q3G2 da Galeria G2 e logo abaixo [2] o Registro fotográfico da Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura (EP4Q3G2) aplicados no Quadro Q3G2 (**Figura 36**).

**Figura 34.** Registro fotográfico da comparação da visualização do quadro Q3G2 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo Quadro Q3G2 em novembro de 2023.



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 35.** Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G2 com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q3G2.



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 36.** Registro fotográfico da Patologia da estrutura de concreto armado da parede da Galeria G2 e da patologia do Esquema de pintura EP4Q3G2 aplicado no quadro Q3G2 na galeria G2



Fonte: O AUTOR, 2024.

#### **4.4.4. Discussão dos resultados da inspeção na superfície interna da galeria G2, no quadro Q3G2 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o esquema de pintura EP4Q3G2**

Foram observados recrutamento de novos indivíduos da espécie *Megabalanus coccopoma* nas bordas do esquema de pintura EP4Q3G2 numa estágio inicial e nos quadros onde foi removida a bioincrustação, atingindo concentração de 0,26 indivíduos/cm<sup>2</sup> em novembro de 2023. A bioincrustação pela espécie *Megabalanus coccopoma* nas áreas das Galerias onde não foi removida permanece com espessura de 5 cm encontrada em setembro de 2017.

Embora o ciclo de vida da craca da espécie *Megabalanus coccopoma* seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento de novos indivíduos na superfície interna da parede da descarga do SAC iniciou seis anos após a remoção da bioincrustação, em novembro de 2023. Esse atraso no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.

Não foram detectadas degradações no Ensaio Visual Direto da superfície interna da estrutura de concreto armado das paredes da Galeria G2 na região do Quadro Q3G2 mas o Esquema de pintura EP4Q3G2 apresentou delaminação entre as tintas do Esquema de pintura EP4Q3G2 e tensão de aderência 2,4 MPa com natureza de falha A/B o que pode ser um indicativo da necessidade de substituir uma das tintas do Esquema de pintura para conseguir melhor aderência inter camadas. Este esquema de pintura EP4Q3G2 ainda apresentou Delaminação parcial na borda do Esquema de pintura EP4Q3G2 contra o fluxo da água do mar quando o sistema SAC está em operação, confirmando a falha de aderência entre as tintas de fundo e acabamento.

#### 4.5. RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q4G2 E EP5Q4G2 - ESQUEMA DE PINTURA (PLASTEEL ANTI-CRACA) DO FORNECEDOR QUIMATIC TAPMATIC

##### 4.5.1. Registro da inspeção do recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q4G2, patologia da estrutura de concreto da parede da galeria G2 e desempenho do esquema de pintura EP5Q4G2

O **Quadro 16** apresenta [1] o resultado da inspeção do Recrutamento da bioincrustação pela craca da espécie *Megabalanus Coccopoma* na parede da Galeria G2 na região do Quadro Q4G2 onde foi removida a bioincrustação, [1] o resultado da avaliação da Patologia da estrutura da parede de concreto armado da Galeria G2 na região do Quadro Q4G2 e [3] o resultado da inspeção de patologia do esquema de pintura EP5Q4G2 aplicado no Quadro Q4G2.

**Quadro 16.** Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das Galerias e Túnel e desempenho dos esquemas de Pintura.

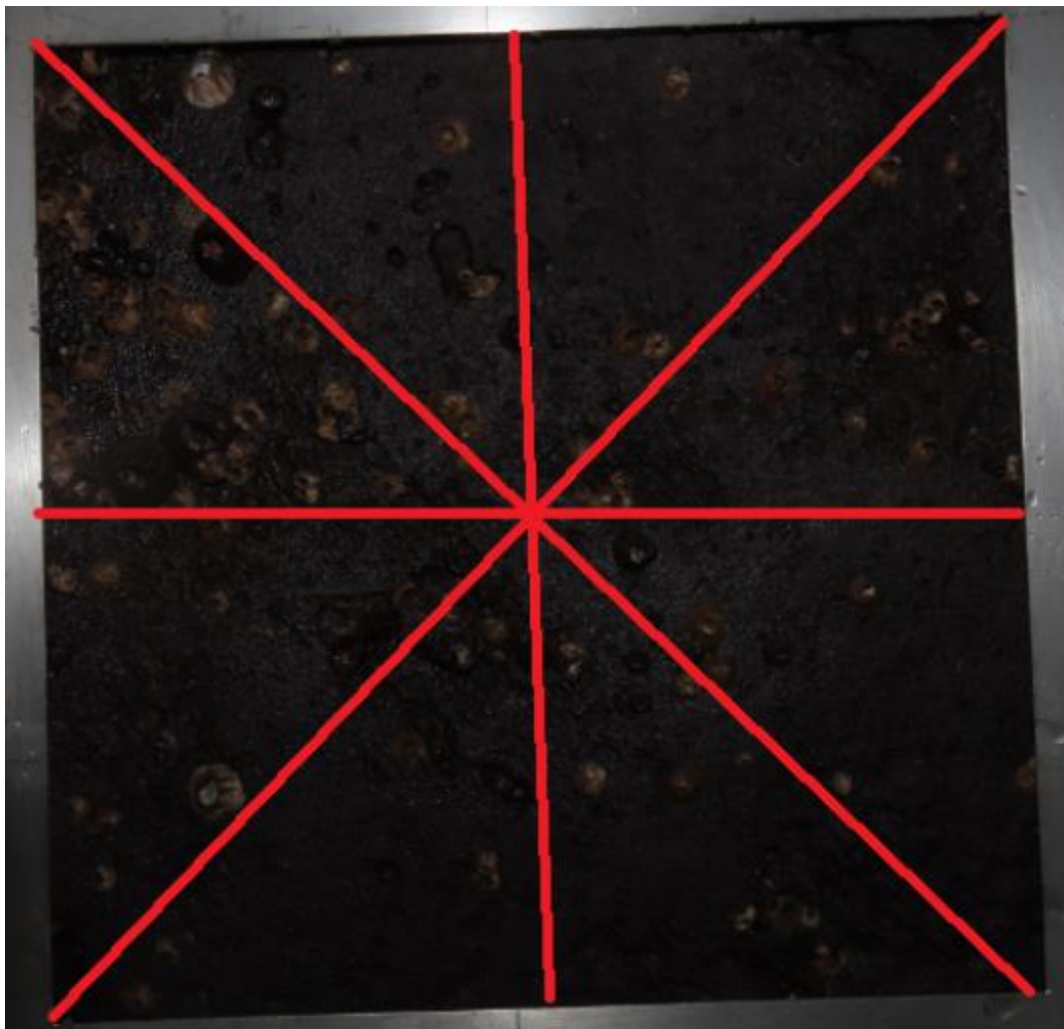
Protocolo e Parâmetro Avaliado	Resultados	Discussões	Objetivo específico
3.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre o Esquema de Pintura EP5Q4G2 aplicado no Quadro Q4G2	Início de recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> nas bordas do Esquema de pintura EP5Q4G2	Embora o ciclo de vida da craca seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento na descarga do SAC iniciou com seis anos após a remoção da bioincrustação. Esse atraso no desenvolvimento no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.	Avaliação do Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre a Estrutura de Concreto Armado das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
4.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G2 de descarga do SAC na região do Quadro Q4G2	Foi detectado Recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> em novembro/2023 quando apresentou concentração de 0,21 indivíduos/m <sup>2</sup>		
5 - Bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G2 de descarga do SAC na região externa ao Quadro Q4G2	Bioincrustação pela craca da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> permanece com a espessura de 5 cm encontrada em setembro/2017		
1 e 4.2 - Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede da Galeria G2 na região do Quadro Q4G2	Não foram observadas manifestações patológicas na parede de concreto armado da Galeria G2 na área do Quadro Q4G2	Estrutura da parede de concreto armado da Galeria G2 não apresentou degradação na área do Quadro Q4G2	Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
2, 3.2 e 6 - Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura EP5Q4G2 aplicado na superfície interna da parede da Galeria ou Túnel de descarga do SAC na região do Quadro Q4G2	Mudança de cor de vermelho escuro para cinza e tensão de aderência 1.6 MPa.	Provavelmente a mudança de cor do Esquema de pintura EP5Q4G2 de vermelho para cinza se deve à interação dos cloretos do mar com o óxido cuproso do Esquema de pintura.	Avaliação do desempenho de cada um dos Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna da parede das Galerias de descarga do SAC

Fonte: O AUTOR, 2024.

#### 4.5.2. Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q4G2 na Galeria G2

A **Figura 37** apresenta o Registro fotográfico da bioincrustação dividido em 8 partes onde cada indivíduo é representado pelos pontos mais claros em cada uma das partes. A contagem do recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação para o cálculo da respectiva concentração foi feita mediante o somatório do número de indivíduos em cada uma das partes.

**Figura 37.** Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede da Galeria 2 na região do Quadro Q4G2



Fonte: O AUTOR, 2024.

No caso do Quadro Q4G2 onde foi aplicado o esquema de pintura EP5Q4G2, na Galeria G2, a concentração do recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria G2 na região do Quadro Q4G2 é igual ao número de indivíduos contados na área do frame (85) dividido pela área do Frame ( $400 \text{ cm}^2$ ) o que resulta numa concentração de  $0,21$  indivíduos/ $\text{cm}^2$ .

#### **4.5.3. Registro fotográfico da inspeção do quadro Q4G2 onde foi aplicado o esquema de pintura EP5Q4G2**

Nesta seção são apresentados os Registros fotográficos dos Ensaio Visuais do Quadro Q4G2 referenciado ao esquema de pintura EP5Q4G2, em três grupos de fotos.

O primeiro grupo apresenta comparação [1] do Quadro Q4G2 em 09/2017 ou 10/2018 quando foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquemas de Pintura EP5Q4G2 com [2] o Quadro Q4G2 em 11/2023 (**Figura 38** Erro! Fonte de referência não encontrada.).

O segundo grupo apresenta comparação [1] do registro fotográfico da bioincrustação sobre as paredes da Galeria G2 com [2] o registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação sobre a Galeria G2 (**Figura 39** Erro! Fonte de referência não encontrada.)

No terceiro grupo são apresentados [1] o Registro fotográfico da Patologia das estruturas de concreto das paredes na região do Quadro Q4G2 da Galeria G2 e logo abaixo [2] o Registro fotográfico da Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura (EP5Q4G2) aplicados no Quadro Q4G2 (**Figura 40** Erro! Fonte de referência não encontrada.).

**Figura 38.** Registro fotográfico da comparação da Visualização do Quadro Q4G2 em setembro de 2017 com a visualização do mesmo Quadro Q4G2 em setembro de 2023.

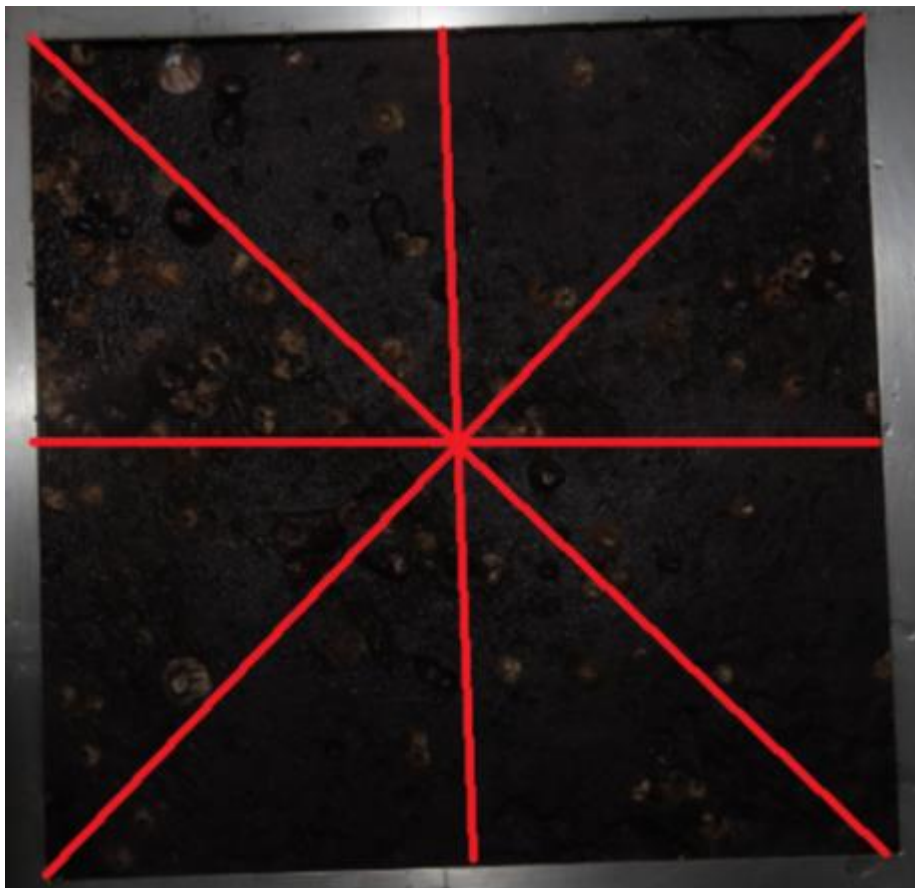




Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 39.** Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da Galeria G2 com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q4G2.





Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 40.** Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado da parede da Galeria G2 e da patologia do esquema de pintura EP5Q4G2 aplicado no quadro Q4G2 na Galeria G2.



Fonte: O AUTOR, 2024.

#### **4.5.4. Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna da Galeria G2, no Quadro Q4G2 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquema de Pintura EP5Q4G2**

Foi observado recrutamento de novos indivíduos da espécie *Megabalanus coccopoma* nas bordas do esquema de pintura EP5Q4G2 numa fase inicial e nos quadros onde foi removida a bioincrustação, atingindo concentração de 0,21 indivíduos/cm<sup>2</sup> em novembro de 2023. A bioincrustação pela espécie *Megabalanus coccopoma* nas áreas das Galerias onde não foi removida permanece com espessura de 5 cm encontrada em setembro de 2017.

Embora o ciclo de vida da craca da espécie *Megabalanus coccopoma* seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento de novos indivíduos na superfície interna da parede da descarga do SAC iniciou seis anos após a remoção da bioincrustação, em novembro de 2023. Esse atraso no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca (D'ALMEIDA, 2017).

Não foram detectadas degradações no Ensaio Visual Direto da superfície interna da estrutura de concreto armado das paredes da Galeria G2 na região do Quadro Q4G2. Foi observada, em janeiro de 2020, a mudança de cor vermelha para cinza, apenas superficial no Esquema de pintura EP5Q4G2, o que se atribuiu à interação dos cloretos do mar com o óxido cuproso do Esquema de pintura. Este Esquema de pintura apresentou tensão de aderência no valor de 2,4 MPa com falha A/B.

#### **4.6. RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q5G2 E EP6Q5G2 - ESQUEMA DE PINTURA (PLASTEEL BRANCO ALTA RESISTÊNCIA QUÍMICA) DO FORNECEDOR QUIMATIC TAPMATIC**

O Resultado da inspeção do Quadro Q5G2 onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP6Q5G2 está dividido em quatro partes. A primeira parte apresenta [1] o Registro da inspeção; a segunda parte apresenta [2] o Registro fotográfico da inspeção; a terceira parte apresenta [3] o cálculo da concentração da

bioincrustação sobre a parede da galeria G2 na região do quadro Q5G2 e a quarta parte apresenta [4] a discussão dos resultados da inspeção.

#### 4.6.1. Registro da inspeção do recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q5G2, patologia da estrutura de concreto da parede da galeria G2 e desempenho do esquema de pintura EP6Q5G2

O **Quadro 17** apresenta [1] o resultado da inspeção do Recrutamento da bioincrustação pela craca da espécie *Megabalanus Coccopoma* na parede da Galeria G2 na região do Quadro Q5G2 onde foi removida a bioincrustação, [1] o resultado da avaliação da Patologia da estrutura da parede de concreto armado da Galeria G2 na região do Quadro Q5G2 e [3] o resultado da inspeção de patologia do esquema de pintura EP6Q5G2 aplicado no Quadro Q5G2.

**Quadro 17.** Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das Galerias e Túnel e desempenho dos esquemas de Pintura.

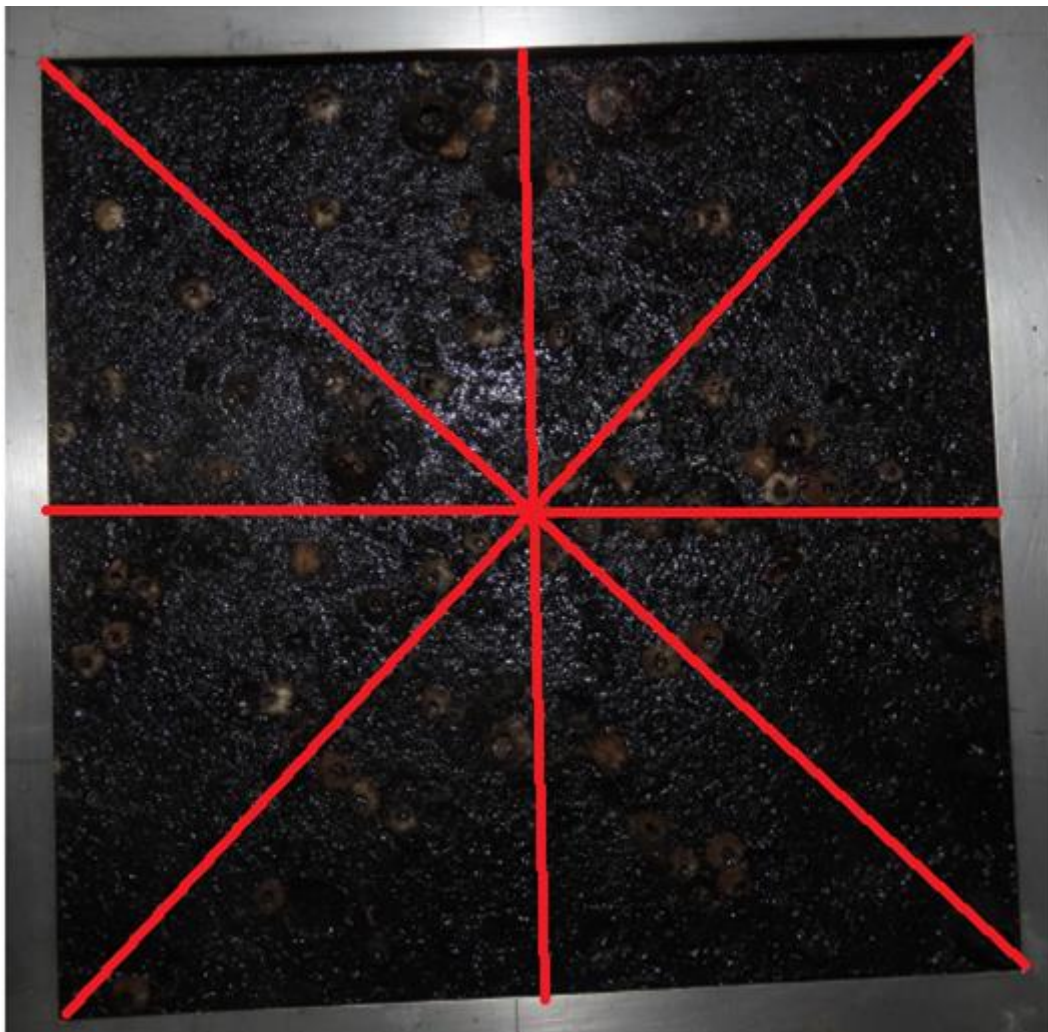
Protocolo e Parâmetro Avaliado	Resultados	Discussões	Objetivo específico
3.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre o Esquema de Pintura EP6Q5G2 aplicado no Quadro Q5G2	Início de recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> nas bordas do Esquema de pintura EP6Q5G2	Embora o ciclo de vida da craca seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento na descarga do SAC iniciou com seis anos após a remoção da bioincrustação. Esse atraso no desenvolvimento no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.	Avaliação do Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre a Estrutura de Concreto Armado das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
4.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G2 de descarga do SAC na região do Quadro Q5G2	Foi detectado Recrutamento da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> em novembro/2023 quando apresentou concentração de 0,16 indivíduos/m <sup>2</sup>		
5 - Bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria ou Túnel G2 de descarga do SAC na região externa ao Quadro Q5G2	Bioincrustação pela craca da espécie <i>Megabalanus Coccopoma</i> permanece com a espessura de 5 cm encontrada em setembro/2017		
1 e 4.2 - Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede da Galeria G2 na região do Quadro Q5G2	Não foram observadas manifestações patológicas na parede de concreto armado da Galeria G2 na área do Quadro Q5G2	Estrutura da parede de concreto armado da Galeria G2 não apresentou degradação na área do Quadro Q5G2	Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
2, 3.2 e 6 - Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura EP6Q5G2 aplicado na superfície interna da parede da Galeria ou Túnel de descarga do SAC na região do Quadro Q5G2	Não foram observadas manifestações patológicas sobre o Esquema de pintura EP6Q5G2 que apresentou tensão de aderência de 2,4 MPa com natureza da falha A	Esquema de pintura EP6Q5G2 não apresentou degradação	Avaliação do desempenho de cada um dos Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna da parede das Galerias de descarga do SAC

Fonte: O AUTOR, 2024.

#### 4.6.2. Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q5G2 na Galeria G2

A **Figura 41** **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta o Registro fotográfico da bioincrustação dividido em 8 partes onde cada indivíduo é representado pelos pontos mais claros em cada uma das partes. A contagem do recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação para o cálculo da respectiva concentração foi feita mediante o somatório do número de indivíduos em cada uma das partes.

**Figura 41.** Divisão do registro fotográfico do recrutamento da bioincrustação da parede da galeria 2 na região do quadro Q5G2



Fonte: O AUTOR, 2024.

No caso do Quadro Q5G2 onde foi aplicado o esquema de pintura EP6Q5G2, na Galeria G2, a concentração do recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede da Galeria G2 na região do Quadro Q5G2 é igual ao número de indivíduos contados na área do frame (63) dividido pela área do Frame ( $400 \text{ cm}^2$ ) o que resulta numa concentração de  $0,16$  indivíduos/ $\text{cm}^2$ .

#### **4.6.3. Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q5G2 onde foi aplicado o esquema de pintura EP6Q5G2**

Nesta seção são apresentados os Registros fotográficos dos Ensaio Visuais do Quadro Q5G2 referenciado ao esquema de pintura EP6Q5G2, em três grupos de fotos.

O primeiro grupo apresenta comparação [1] do Quadro Q5G2 em 09/2017 ou 10/2018 quando foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquemas de Pintura EP6Q5G2 com [2] o Quadro Q5G2 em 11/2023 (**Figura 42**).

O segundo grupo apresenta comparação [1] do registro fotográfico da bioincrustação sobre as paredes da Galeria G2 com [2] o registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação sobre a Galeria G2 (**Figura 43**).

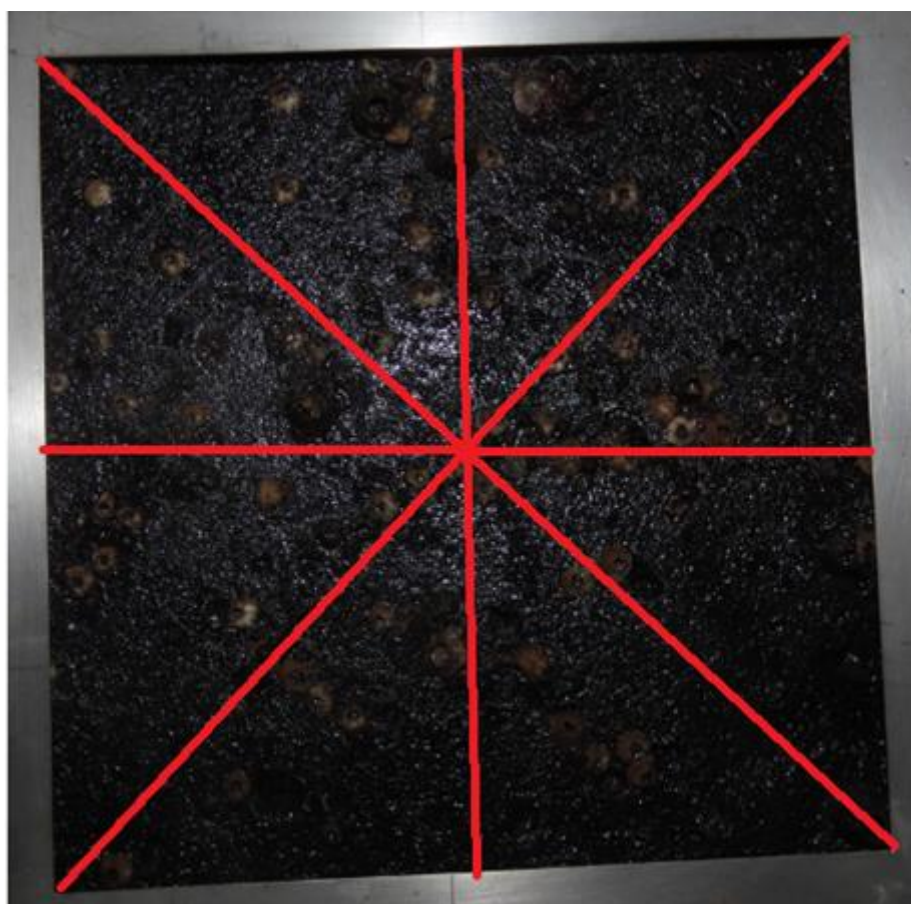
No terceiro grupo são apresentados [1] o Registro fotográfico da Patologia das estruturas de concreto das paredes na região do Quadro Q5G2 da Galeria G2 e logo abaixo [2] o Registro fotográfico da Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura (EP6Q5G2) aplicados no Quadro Q5G2 (**Figura 44**).

**Figura 42.** Registro fotográfico da comparação da visualização do quadro Q5G2 em 09/2017 ou 10/2018 com a visualização do mesmo Quadro Q5G2 em novembro de 2023.



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 43.** Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede da galeria G2 com o recrutamento da bioincrustação sobre o quadro Q5G2.



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 44.** Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado da parede da galeria G2 e da patologia do esquema de pintura EP6Q5G2 aplicado no quadro Q5G2 na galeria G2.



Fonte: O AUTOR, 2024.

#### **4.6.4. Discussão dos resultados da inspeção na superfície interna da galeria G2, no quadro Q5G2 onde foi removida a bioincrustação e aplicado o esquema de pintura EP6Q5G2**

Foi observado recrutamento de novos indivíduos da espécie *Megabalanus coccopoma* nas bordas do esquema de pintura EP6Q5G2 numa fase inicial e nos quadros onde foi removida a bioincrustação onde atingiu concentração de 0,16 indivíduos/cm<sup>2</sup> em novembro/2023. A bioincrustação pela espécie *Megabalanus coccopoma* nas áreas das Galerias onde não foi removida permanece com espessura de 5 cm encontrada em setembro/2017.

Embora o ciclo de vida da craca da espécie *Megabalanus coccopoma* seja de três anos para atingir a maturidade, o recrutamento de novos indivíduos na superfície interna da parede da descarga do SAC iniciou seis anos após a remoção da bioincrustação, em novembro/2023. Esse atraso no desenvolvimento da craca na descarga pode ter sido provocado pela ação residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC onde consegue inibir o crescimento da craca.

Não foram detectadas degradações no Ensaio Visual Direto da superfície interna da estrutura de concreto armado das paredes da Galeria G1 e no Esquema de pintura EP6Q5G2 que apresentou Tensão de aderência de 2,4 MPa com natureza da natureza da falha A.

#### **4.7. RESULTADO DA INSPEÇÃO DO QUADRO Q6T E EP6Q6T - ESQUEMA DE PINTURA (PLASTEEL BRANCO ALTA RESISTÊNCIA QUÍMICA) DO FORNECEDOR QUIMATIC TAPMATIC**

O Resultado da inspeção do Quadro Q6T onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP6Q6T está dividido em quatro partes. A primeira parte apresenta [1] o Registro da inspeção; a segunda parte apresenta [2] o Registro fotográfico da inspeção; a terceira parte apresenta [3] o cálculo da concentração da bioincrustação sobre a parede da Túnel T na região do Quadro Q6T e a quarta parte apresenta [4] a Discussão dos resultados da inspeção.

#### 4.7.1. Registro da inspeção do Recrutamento da Bioincrustação sobre o Quadro Q6T, Patologia da Estrutura de Concreto da Parede do Túnel T e Desempenho do Esquema de Pintura EP6Q6T

O **Quadro 18** apresenta [1] o resultado da inspeção do Recrutamento da bioincrustação pela craca da espécie *Megabalanus Coccopoma* na parede do Túnel T na região do Quadro Q6T onde foi removida a bioincrustação, [1] o resultado da avaliação da Patologia da estrutura da parede de concreto armado do Túnel T na região do Quadro Q6T e [3] o resultado da inspeção de patologia do esquema de pintura EP6Q6T aplicado no Quadro Q6T.

**Quadro 18.** Formulário para anotação e discussão dos resultados dos ensaios de avaliação do recrutamento da bioincrustação, patologia da estrutura de concreto armado das paredes das Galerias e Túnel e desempenho dos esquemas de Pintura.

Protocolo e Parâmetro Avaliado	Resultados	Discussões	Objetivo específico
3.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre o Esquema de Pintura EP6Q6T aplicado no Quadro Q6T	Recrutamento da espécie <i>Petalocochus varians</i> atingiu a maturidade 1 ano após remoção e impediu execução do Ensaio Visual Direto	Recrutamento da espécie <i>Petalocochus varians</i> atingiu a maturidade 1 ano após a sua remoção o que sugere que, ao contrário da espécie <i>Megabalanus coccopoma</i> , a concentração residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC não tem influência no desenvolvimento do vermetídeo.	Avaliação do Recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação sobre a Estrutura de Concreto Armado das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
4.1 - Recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede do Túnel T de descarga do SAC na região do Quadro Q6T	Recrutamento da espécie <i>Petalocochus varians</i> atingiu a maturidade 1 ano após remoção e impediu execução do Ensaio Visual Direto		
5 - Bioincrustação sobre a superfície interna da parede do Túnel T de descarga do SAC na região externa ao Quadro Q6T	Bioincrustação permaneceu com a espessura de 5 cm encontrada em setembro/2017		
1 e 4.2 - Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede do Túnel T na região do Quadro Q6T	Não foi possível executar o Ensaio Visual do Quadro Q6T pois a bioincrustação cobriu todo o Quadro e impediu o Ensaio Visual da parede da Galeria do Quadro Q6T	Foi possível observar que a parede de concreto do Túnel não apresentou degradação na região do Quadro Q6T em 2018 quando foi removida a bioincrustação	Patologia da Estrutura de Concreto Armado da parede das Galerias ou Túnel de descarga do SAC
2, 3.2 e 6 - Patologia e Tensão de aderência do Esquema de Pintura EP6Q6T aplicado na superfície interna da parede da Galeria ou Túnel de descarga do SAC na região do Quadro Q6T	Recrutamento da espécie <i>Petalocochus varians</i> atingiu a maturidade 1 ano após remoção e impediu execução do Ensaio Visual Direto e do Ensaio de aderência	Recrutamento da espécie <i>Petalocochus varians</i> impediu execução do Ensaio Visual Direto e do Ensaio de aderência do Esquema de pintura.	Avaliação do desempenho de cada um dos Esquemas de Pintura aplicados na superfície interna da parede das Galerias de descarga do SAC

Fonte: O AUTOR, 2024.

#### 4.7.2. Cálculo da concentração do recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q6T no Túnel T

A **Figura 45** apresenta o registro fotográfico da bioincrustação dividido em 8 partes onde cada indivíduo é representado pelos pontos mais claros em cada uma das partes. A contagem do recrutamento de novos indivíduos da bioincrustação para o cálculo da respectiva concentração foi feita mediante o somatório do número de indivíduos em cada uma das partes.

**Figura 45.** Divisão do Registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação da parede do Túnel na região do Quadro Q6T



Fonte: O AUTOR, 2024.

O registro fotográfico apresentado na Figura 47 foi feito por uma câmera fotográfica CANON acoplada a um frame de aço inox com as dimensões 20 cm

x 20cm. Desta forma, a concentração do Recrutamento da bioincrustação é o resultado da divisão do número de indivíduos contados na área do frame pela área do Frame que é de  $400 \text{ cm}^2$  (20 cm x 20 cm).

No caso do Quadro Q6T onde foi aplicado o esquema de pintura EP6Q6T, no Túnel T, a concentração do recrutamento da bioincrustação sobre a superfície interna da parede do Túnel T na região do Quadro Q6T é igual ao número de indivíduos contados na área do frame (63) dividido pela área do Frame ( $400 \text{ cm}^2$ ) o que resulta numa concentração de  $0,16 \text{ indivíduos/ cm}^2$ .

#### **4.7.3. Registro fotográfico da inspeção do Quadro Q6T onde foi aplicado o Esquema de Pintura EP6Q6T**

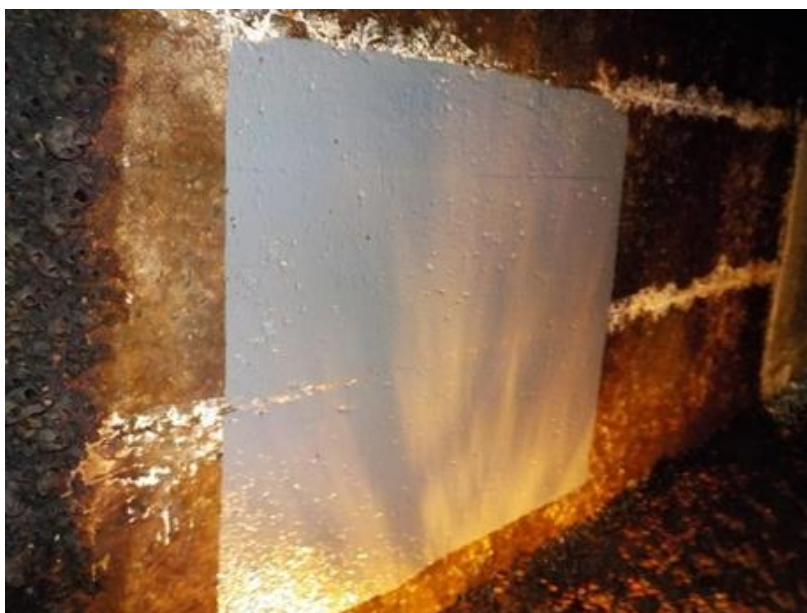
Nesta seção são apresentados os Registros fotográficos dos Ensaio Visuais do Quadro Q6T referenciado ao esquema de pintura EP6Q6T, em três grupos de fotos.

O primeiro grupo apresenta comparação [1] do Quadro Q6T em outubro de 2018 quando foi removida a bioincrustação e aplicado o esquemas de pintura EP6Q6T com [2] o Quadro Q6T em novembro de 2023 (Figura 46**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

O segundo grupo apresenta comparação [1] do registro fotográfico da bioincrustação sobre as paredes do Túnel T com [2] o registro fotográfico do Recrutamento da bioincrustação sobre o Túnel T (Figura 47**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

No terceiro grupo são apresentados [1] o Registro fotográfico da Patologia das estruturas de concreto das paredes na região do Quadro Q6T do Túnel T e logo abaixo [2] o Registro fotográfico da Patologia do Esquema de Pintura (EP6Q6T) aplicados no Quadro Q6T (Figura 48).

**Figura 46.** Registro fotográfico da comparação da Visualização do Quadro Q6T em 09/2017 ou 10/2018 com a visualização do mesmo Quadro Q6T em 11/2023



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 47.** Registro fotográfico da comparação da bioincrustação sobre a parede do Túnel T com o Recrutamento da bioincrustação sobre o Quadro Q6T



Fonte: O AUTOR, 2024.

**Figura 48.** Registro fotográfico da patologia da estrutura de concreto armado da parede do Túnel T e da patologia do esquema de pintura EP6Q6T aplicado no quadro Q6T no Túnel T.



Fonte: O AUTOR, 2024.

#### **4.7.4. Discussão dos Resultados da inspeção na superfície interna do Túnel T, no Quadro Q6T onde foi removida a bioincrustação e aplicado o Esquema de Pintura EP6Q6T**

O recrutamento da espécie *Petaloconchus varians* atingiu a maturidade com 5 cm de espessura e cobriu toda a área do quadro onde foi removida a bioincrustação, 1 ano após a sua remoção no Quadro Q6T o que sugere que, ao contrário da espécie *Megabalanus coccopoma*, a concentração residual do biocida hipoclorito de sódio injetado na admissão do SAC não tem influência no desenvolvimento do vermitídeo, predominante da bioincrustação na região do Túnel. Este crescimento acelerado da espécie *Petaloconchus varians* no Túnel de descarga do SAC impediu execução do Ensaio Visual Direto do Esquema de pintura aplicado. A bioincrustação na região externa à área onde foi removida permaneceu com a espessura de 5 cm encontrada em setembro de 2017

Apesar de impedida a execução do ensaio visual direto da superfície interna da parede de concreto armado do túnel em novembro de 2023, foi possível observar que a parede de concreto do Túnel não apresentava, em outubro de 2018, degradação na região do Quadro Q6T onde foi removida a bioincrustação. O crescimento acelerado da espécie *Petaloconchus varians* também impediu a execução do Ensaio de aderência do Esquema de pintura EP6Q6T no túnel mas como este mesmo esquema de pintura foi aplicado também no quadro Q5G2 da galeria G2, foi possível avaliar o comportamento do esquema de pintura EP6 na descarga do SAC.

#### 4.8. RESUMO DOS RESULTADOS DOS ESQUEMAS DE PINTURA

A formação de bolhas densa generalizada de tamanho 2 observada no Esquema da pintura EP1Q1G1 em razão da pressão de vapor da umidade que ingressou na estrutura da parede da Galeria G1 impediu a colagem dos dolly e a execução do Ensaio de aderência à tração do Esquema de pintura.

Não foram detectadas degradações no Ensaio Visual Direto do Esquema de pintura EP2Q2G1 que apresentou Tensão de aderência de 2,9 MPa com natureza da falha A/B.

O ensaio visual direto do esquema de pintura EP2Q2G1 detectou formação de bolhas localizada no centro superior (janeiro de 2020) da aplicação do esquema de pintura EP3Q2G1 que evoluiu para generalizada em novembro/2023, demonstrando a degradação do esquema de pintura neste período de seis anos que indica estar relacionado à vida útil do esquema de pintura que apresentou, em setembro de 2022, tensão de aderência de 7,9 MPa com natureza da falha 8% B e 20% B/C.

O Esquema de pintura EP4Q3G2 apresentou delaminação entre as tintas do Esquema de pintura EP4Q3G2 e tensão de aderência 2,4 MPa com natureza de falha A/B o que pode ser um indicativo da necessidade de substituir uma das tintas do Esquema de pintura para conseguir melhor aderência inter camadas. Este esquema de pintura EP4Q3G2 ainda apresentou Delaminação parcial na borda do Esquema de pintura EP4Q3G2 contra o fluxo da água do mar quando o sistema SAC está em operação, confirmando a falha de aderência entre as tintas de fundo e acabamento.

Foi observada, em janeiro de 2020, a mudança de cor vermelha para cinza, apenas superficial no Esquema de pintura EP5Q4G2, o que se atribuiu à interação dos cloretos do mar com o óxido cuproso do Esquema de pintura. Este Esquema de pintura apresentou tensão de aderência no valor de 2,4 MPa com falha A/B.


Não foram detectadas degradações no ensaio visual direto do esquema de pintura EP6Q5G2 que apresentou Tensão de aderência de 2,4 MPa com natureza da natureza da falha A.

Apesar de impedida a execução do ensaio visual direto da superfície interna da parede de concreto armado do Túnel em novembro de 2023. O crescimento acelerado da espécie *Petalconchus varians* também impediu a execução do ensaio de aderência do esquema de pintura EP6Q6T no Túnel mas como este mesmo esquema de pintura foi aplicado também no Quadro Q5G2 da Galeria G2, foi possível avaliar o comportamento do Esquema de pintura EP6 na descarga do SAC.

No **Quadro 19** apresentamos o resumo das conclusões relativas a desempenho dos esquemas de pintura donde pudemos concluir que o melhor foi o esquema de pintura 2 (EP2) Plasteel azul produzido pela empresa Quimatic Tapmatic.

**Quadro 19.** Resultado do desempenho de sistemas de pintura aplicados na descarga do SAC.

**Legenda:** AP = aplicação, AD = resultado do ensaio de aderência à tração, BOINC = recrutamento da bioincrustação, MUD.COR = Mudança de cor, DELAM = delaminação, BOLHA = Formação de bolhas

EP	FORN	Q1G1	Q2G1	Q3G2	Q4G2	Q5G2	Q6T
EP1	MC	AP.2017 BOLHA 10/2018 AD:NÃO 01/2020					
EP2	QT		AP.2017 2,9 Mpa 01/2020				
EP3	SIKA		AP.2017 BOLHA 10/2018 09/2023 7,9 Mpa 01/2020				
EP4	AN			AP.2017 DELAM. 01/2020 2,4 Mpa 01/2020			
EP5	QT				AP.2017 MUD.COR 10/2018 09/2022 1,6 MPa 01/2020		
EP6	QT					AP.2018 2,4 Mpa 01/2020	AP.2018 BIOINC 01/2020 AD:NÃO 01/2020

Fonte: O AUTOR, 2024.

## 5. CONCLUSÕES

Nesta sessão são apresentadas as conclusões a partir da discussão dos resultados das inspeções orientada pelo Protocolo de Inspeção criado e testado para cada um dos objetivos gerais que originaram a pesquisa.

A craca da espécie *Megabalanus coccopoma* cuja ocupação predomina na superfície interna das galerias de descarga do SAC apresentou crescimento lento, atingindo densidade de 0,16 a 0,26 indivíduos por cm<sup>2</sup> no período de setembro de 2017 a novembro de 2023.

O vermetídeo da espécie *Petalonchus varians* cuja ocupação predomina na superfície interna do túnel de descarga do SAC apresentou crescimento acelerado, atingindo a espessura de 5 cm no período de setembro de 2017 a novembro de 2023.

A estrutura de concreto armado das galerias não apresentou manifestação patológica no período de setembro de 2017 a novembro de 2023.

Não foi possível avaliar a estrutura de concreto armado do túnel de descarga do SAC pois a bioincrustação pelo vermetídeo *Petalonchus varians* ocupou totalmente a área onde foi removida a bioincrustação.

O esquema de pintura Plasteel azul fornecido pela empresa Quimatic Tapmatic apresentou o melhor desempenho dentre os 6 esquemas de pintura aplicados nas galerias posto que não apresentou nenhuma manifestação patológica e tensão de aderência de 2,9 Mpa no período de setembro de 2017 a novembro de 2023.

## **6. TRABALHOS FUTUROS**

Propõe-se o desenvolvimento de aditivo anti-incrustante com o objetivo de inibir ou eliminar o crescimento do vermitídeo *Petalconchus varians* que domina a bioincrustação na superfície interna da estrutura de concreto armado do Túnel T. Esse aditivo com o objetivo de modificar a preparação de cada um dos Esquemas de pintura testados nas Galerias G1 e G2.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINI, V. O.; MACEDO, A. J.; MUXAGATA, E. O papel do biofilme bacteriano no acoplamento bentopelágico, durante o processo de bioincrustação. *Revista Liberato*, Novo Hamburgo, v. 19, n. 31, p. 23-42, 2018.
- ALMEIDA, E. *et al.* Alternative environmentally friendly coatings for mild steel and electrogalvanized steel to be exposed to atmospheres. *Materials and Corrosion*, Weinheim, v. 52, n. 12, p. 904-919, Dec. 2001.
- BASTOS, P. S. *Fundamentos do concreto armado*. Bauru, SP: Universidade Estadual Paulista, 2019. (Nota: Se "pág. 8 (Abr)").
- BREVES, A. *et al.* **Abundance of the reef-building *Petalocochus varians* (Gastropoda: Vermetidae) on intertidal rocky shores at Ilha Grande Bay, southeastern Brazil.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 89, n. 2, p. 907-918, 2017.
- BREVES, A. *et al.* **A unique subtidal vermetid reef formation in a nuclear power plant discharge area at Ilha Grande Bay** (southwestern Atlantic Ocean). *Marine Biodiversity Records*, [S.l.], v. 9, p. 1-4, 2016.
- BREVES, A.; LA MARCA, E. C.; JUNQUEIRA, A. **The reappearance of the intertidal reef-building vermetid *Petalocochus varians* in the South-Western Atlantic.** *Biologia Marina Mediterranea*, [S.l.], v. 24, n. 1, p. 96-97, 2017.
- CAMARGO, J. B. *Compatibilidade entre tintas industriais: uma proposta para o ensino de química no treinamento de equipes de manutenção industrial do setor elétrico*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Sertãozinho, Sertãozinho, 2017.
- CARDOSO, E. M. *et al.* *Energia nuclear*. Rio de Janeiro, 3: 12, 2012.
- D'ALMEIDA, R. S. P. *Fecundidade de três espécies simpátricas de *Megabalanus* (Crustacea–Cirripedia) no litoral da região Sudeste do Brasil*. 2017. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.
- DIAS, F. F. *et al.* Ocorrência de agregados de vermetídeos vivos e fósseis em costões rochosos no Atlântico Sul. In: **CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA)**, 13., 2011, Armação dos Búzios. *Anais [...]*. Armação dos Búzios, RJ: ABEQUA, 2011. 6 p.

ELETROBRÁS TERMONUCLEAR S.A. *Final Safety Analysis Report: FSAR Angra 1*. Versão 32. Rio de Janeiro: Eletronuclear, 2004.

ELETRONUCLEAR. *Nossas atividades: Angra 1*. Rio de Janeiro: Eletronuclear, [20--?]. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-1.aspx>. Acesso em: 27 out. 2024.

ELETRONUCLEAR. *Nossas atividades: Angra 2*. Rio de Janeiro: Eletronuclear, [20--?]. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-2.aspx>. Acesso em: 27 out. 2024.

ELETRONUCLEAR. *Nossas atividades: Angra 3*. Rio de Janeiro: Eletronuclear, [20--?]. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>. Acesso em: 27 out. 2024.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Matriz energética e elétrica*. Brasília, DF: EPE, [20--?]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 17 dez. 2024.

FRAGATA, F.; AMORIM, C. C.; ORDINE, A. P. Ensaios de aderência de tintas de esquemas de pintura: análise de resultados obtidos por diferentes métodos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO (CORROTEC)**, 2010, Fortaleza. *Anais [...]*. Fortaleza: ABRACO, 2010.

FRAGATA, F.; ORDINE, A. P.; AMORIM, C. C. *Ensaio de aderência em tintas e esquemas de pintura pelo método de resistência à tração: valores típicos de tensão de ruptura, tipos de falha e comentários técnicos*. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO (INTERCORR)**, 2012, Salvador. *Anais [...]*. Salvador: ABRACO, 2012.

GOMES FILHO, S. D. Protocolo para avaliação da eficácia anti-incrustante de esquema de pinturas aplicados na superfície interna das galerias e do túnel de descarga de água do mar que refrigera o sistema de vapor principal da usina nuclear de Angra 1. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (CBPAT)**, 2020, Fortaleza. *Anais [...]*. Fortaleza: Associação Brasileira de Patologia das Construções (ALCONPAT Brasil), 2020. p. 3679-3690.

GONÇALVES, O. D. *Programa nuclear brasileiro: passado, presente, futuro*. [S.l.: s.n., 20--?]. Disponível em: [https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/475/1/Apresentacao\\_Energia\\_Nuclear\\_CNEN.pdf](https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/475/1/Apresentacao_Energia_Nuclear_CNEN.pdf). Acesso em: 18 dez. 2024.

GOOGLE MAPS. *Localização da Usina Angra I e suas estruturas de admissão e descarga, Angra dos Reis, RJ*. Google, 2024. Disponível em: <https://www.google.com/maps>. Acesso em: 10 jan. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **História:** Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto: usinas nucleares de Angra dos Reis mostram outro lado da matriz energética brasileira. *Desafios do Desenvolvimento*, Brasília, DF, [data específica ou ano], 2010. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&id=1295:catid=28](https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=1295:catid=28). Acesso em: 1 nov. 2024.

KURAMOTO, R. Y. R.; APPOLONI, C. R. **Uma breve história da política nuclear brasileira.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 379-392, dez. 2002.

MAGIN, C. M.; COOPER, S. P.; BRENNAN, A. B. **Non-toxic antifouling strategies.** *Materials Today*, [Oxford], v. 13, n. 4, p. 36-44, Apr. 2010.

MARQUES, R. L. *A química das tintas como contexto para o ensino de química do ensino médio.* 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

MOORE, P. Fundador do Greenpeace defende energia nuclear. **FOLHA DE SÃO PAULO.** Entrevista. 2007. Disponível: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/dinheiro/fi2703200721.htm> Acesso em: 30 out. 2024

NASCIMENTO, F. B. C. Corrosão em armaduras de concreto. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS*, Maceió, v. 3, n. 1, p. [página inicial-final], 2015.

PEREIRA, T. R. *Corrosão em armaduras de concreto.* [S.l.]: Passei Direto, 2017. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/6241020/corrosao-em-armaduras-de-concreto>. Acesso em: 30 out. 2024.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO SOBRE A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA (SiBBR). *Megabalanus coccopoma* (Darwin, 1854). [Brasília, DF]: SiBBR, [20--?]. Disponível em: <https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/203097>. Acesso em: 1 nov. 2024.

SOARES, A. P. F.; VASCONCELOS, L. T.; NASCIMENTO, F. B. C. Corrosão em armaduras de concreto. *Cadernos de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas*, Maceió, v. 1, n. 3, p. 177-188, 2015.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). *Reatores nucleares de potência.* São Paulo: USP, 2020. Material didático. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5324079/mod\\_resource/content/2/rpotencia.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5324079/mod_resource/content/2/rpotencia.pdf). Acesso em: 1 nov. 2024.

**ANEXO I**

**MANUAL DE NORMAS E  
PROCEDIMENTOS PARA INSPEÇÃO  
DAS ESTRUTURAS DE DESCARGA  
DE ÁGUA DA USINA NUCLEAR  
ANGRA I**

**Sebastião Domingos Gomes Filho**

**VOLTA REDONDA****2024****SUMÁRIO**

1. APRESENTAÇÃO.....	04
2. FLUXO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL .....	04
3. INTRODUÇÕES TEÓRICAS .....	05
3.1 Introdução .....	05
3.2 Definições.....	05
3.3 Abreviações .....	06
4. METODOLOGIA.....	07
4.1 Condições da estrutura.....	07
4.2. Responsabilidades .....	07
4.3. Procedimentos para execução da inspeção.....	07
4.3.1. Fase 1: Isolamento e drenagem da estrutura.....	07
4.3.1.1. Isolamento da estrutura .....	07
4.3.1.2. Drenagem da estrutura .....	08
4.3.1.3. Precauções para execução da Fase 1.....	08
4.3.1.4. Pré-requisitos para execução da Fase 1 .....	08
4.3.2. Fase 2: Acesso do inspetor ao ambiente da estrutura.....	08
4.3.2.1. Montagem de estrutura metálica tubular .....	09
4.3.2.2. Instalação de sistema de força.....	09
4.3.2.3. Acesso ao ambiente da estrutura submersa .....	09
4.3.2.4. Precauções para execução da Fase 2.....	10
4.3.2.4. Pré-requisitos para execução da Fase 2.....	10
4.3.3. Fase 3: Inspeção de reconhecimento da estrutura.....	10
4.3.3.1. Inspeção visual.....	10
4.3.3.2. Precauções para execução da Fase 3.....	12
4.3.3.3. Pré-requisitos para execução da Fase 3.....	12
4.3.4. Fase 4: Inspeção da bioincrustação sobre a estrutura.....	13
4.3.4.1. Avaliação do recrutamento da bioincrustação.....	13
4.3.4.2. Precauções para execução da Fase 4.....	14
4.3.4.3. Pré-requisitos para execução da Fase 4.....	14

4.3.5. Fase 5: Inspeção da estrutura da estrutura, bioincrustação e manifestações patológicas nos esquemas de pintura.....	<b>14</b>
4.3.5.1. Avaliação do desempenho dos esquemas de pintura.....	<b>14</b>
4.3.5.2. Avaliação de manifestações patológicas nos esquemas de pintura.....	<b>15</b>
4.3.5.3. Avaliação da formação de bolhas nos esquemas de pintura.....	<b>16</b>
4.3.5.4 Avaliação da tensão de aderência à tração dos esquemas de pintura.....	<b>16</b>
4.3.5.5. Precauções para execução da Fase 5.....	<b>18</b>
4.3.5.6. Pré-requisitos para execução da Fase 5.....	<b>19</b>
4.3.6. Fase 6: Reinspeção ou inspeção periódica da estrutura do recrutamento da bioincrustação sobre a estrutura e dos esquemas de pintura aplicados na estrutura..	<b>19</b>
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	<b>20</b>

## **1 APRESENTAÇÃO**

Este manual, tem por objetivo orientar os processos para realização da inspeção das estruturas internas, de concreto armado, submersas em ambientes marinhos, cobertas por bioincrustação e protegidas por esquemas de pintura, utilizadas para descarga das águas de resfriamento da usina nuclear Angra I.

## **2 FLUXO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL**

Este processo se divide em 6 fases que são:

- [1] Isolamento e drenagem da estrutura;
- [2] Acesso à estrutura;
- [3] Inspeção de reconhecimento da estrutura;
- [4] Inspeção da bioincrustação sobre a estrutura;
- [5] Inspeção da estrutura da estrutura, bioincrustação e manifestações patológicas nos esquemas de pintura;
- [6] Reinspeção ou Inspeção periódica da estrutura, da bioincrustação sobre a estrutura e de esquemas de pintura aplicados na estrutura.

## 3 INTRODUÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Introdução

A utilização da energia atômica combinada a fontes de energias renováveis é a única forma de garantir o suprimento mundial. Sendo assim, faz-se necessário a manutenção das estruturas para segurança das populações e fornecimento constante (GONÇALVES, 2024).

No caso das usinas nucleares, a exposição das galerias e túnel de concreto armado de descarga do Sistema de Água de Circulação (SAC) aos agentes presentes no ambiente marinho, durante o processo de geração de energia elétrica, pode provocar anomalias tanto no concreto, quanto na armadura de aço, além do crescimento de bioincrustações sobre a estrutura (ELETRONUCLEAR, 2024).

Para avaliar a ocorrência dessas anomalias, são executadas inspeções periódicas que possibilitam a detecção prematura de manifestações patológicas, precursoras de degradações da estrutura.

Para possibilitar essas inspeções da descarga do SAC, são removidas as bioincrustações em áreas chaves das galerias e do túnel que contém esquemas de pintura de vários fornecedores que visam proteger a estrutura de concreto.

Nesta linha de raciocínio, esse manual de instrução visa atender as necessidades de padronização e certificação dos procedimentos para verificação da estrutura e comparação das proteções usadas, sendo aplicável a estruturas de concreto armado submersas no ambiente marinho que podem ser drenadas e acessadas para possibilitar aplicação de esquemas de pintura anticorrosivos e antiincrustantes e o ensaio visual direto dessa estrutura, sobre as quais se desenvolve bioincrustação.

### 3.2 Definições

- Ensaio visual

Técnica de exame visual que é executada por inspetor qualificado, em condições de iluminação (natural ou artificial) adequada, para a observação da superfície

do componente a ser avaliado.

O ensaio visual pode ser direto ou indireto.

➤ Ensaio visual direto

Técnica de exame visual que é executada quando o inspetor tem acesso visual direto à superfície da estrutura a ser inspecionada (GOMES FILHO, 2020; GONÇALVES, 2024).

➤ Ensaio visual indireto

Técnica de exame visual que é executada quando o inspetor não tem acesso visual direto à superfície da estrutura e utiliza espelhos específicos, binóculo e dispositivo de inspeção remota dentre outros (GOMES FILHO, 2020; GONÇALVES, 2024).

- Recrutamento da bioincrustação

Crescimento de novos indivíduos da mesma espécie presente na bioincrustação detectada, nas áreas onde foi removida a bioincrustação (GOMES FILHO, 2020).

### 3.3 Abreviações

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas que é o órgão brasileiro responsável pela emissão de normas técnicas que disciplinam um determinado assunto ou atividade.
- NR - Norma regulamentadora que é emitida pelo Ministério do Trabalho e Emprego contendo obrigações, direitos e deveres dos empregadores e trabalhadores visando a prevenção de doenças e acidentes do trabalho.
- ASO - Atestado de saúde ocupacional que é o documento emitido por médico do trabalho de uma empresa para atestar a aptidão de um trabalhador para execução de atividades laborais.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Condições da estrutura**

Para a execução da inspeção das estruturas de concreto armado submersas no ambiente marinho cobertas por bioincrustação e protegidas por esquemas de pintura, é necessário que o sistema de bombeamento de água do mar seja desligado e a região à ser inspecionadas seja isolada para permitir a drenagem da estrutura e possibilidade de acesso.

### **4.2 Responsabilidades**

A responsabilidade pela execução das fases de inspeção, deverão ser definidas em procedimentos específicos de cada empresa, de forma a garantir a padronização das ações, a preservação das estruturas e da saúde dos inspetores.

### **4.3 Procedimentos para execução da inspeção**

A inspeção das estruturas de concreto armado submersas no ambiente marinho e cobertas por bioincrustação, sobre as quais são aplicados esquemas de pintura, são executadas em 7 fases conforme descrito a seguir:

#### **4.3.1 - FASE 1: Isolamento e drenagem da estrutura**

A fase 1 da inspeção trata do isolamento e da drenagem da estrutura e tem o objetivo de possibilitar o acesso à estrutura para execução da inspeção.

##### **4.3.1.1 Isolamento da estrutura**

Isolamento da estrutura submersa para possibilitar a drenagem do trecho a ser inspecionado deve ser feito mediante desligamento dos equipamentos relacionados ao fluxo da água do mar pela estrutura e o seccionamento da área a ser avaliada. Nesse processo, poderão ser utilizadas chapas metálicas denominadas “*stoplog*”, dentre outras.

##### **4.3.1.2 Drenagem da estrutura**

Nesta etapa, se faz necessário a instalação de bomba sapo e mangueiras para remoção da água do mar da estrutura para o ambiente externo.

#### 4.3.1.3 Precauções para execução da Fase 1

- Antes da instalação das bombas no ambiente da estrutura, as mangueiras deverão ser inspecionadas para evitar a utilização materiais danificados que, ao invés de drenar o ambiente, retornem à água da descarga da bomba para o ambiente da estrutura;
- Deverá ser estabelecido o limite de acesso dos inspetores apenas às áreas onde não há inundação do piso nas galerias e túnel, para evitar o risco de choque elétrico para os inspetores.
- Caso seja necessária a inspeção nas áreas onde o piso está inundado, a liberação para acesso deve ser condicionada ao desligamento das bombas de drenagem que deverão ser mantidas deligadas durante a inspeção;
- Caso o isolamento não seja possível, em razão da falha de vedação no isolamento da estrutura ou por conta da capacidade das bombas sapo, cujo projeto característico, não drenam toda a água, deverão ser feitas sinalizações mediante instalação de um limite físico para impedir o acesso dos inspetores à estas áreas inundadas.

#### 4.3.1.4 Pré-requisitos para execução da Fase 1

Os inspetores deverão ser instruídos quanto aos riscos elétricos da atividade relacionados à bomba de drenagem da estrutura, em Diálogo Diário de Segurança - DDS.

### **4.3.2 - FASE 2: Acesso do inspetor ao ambiente da estrutura**

A fase 2 da inspeção trata do acesso à estrutura e tem o objetivo de possibilitar a inspeção da estrutura.

#### 4.3.2.1 Montagem de estrutura metálica tubular

Deverá ser montada uma estrutura metálica tubular (pau de carga) para isolamento do bocal de visita de acesso à estrutura submersa e para possibilitar a instalação de um sistema de força para movimentação dos inspetores.

#### 4.3.2.2 Instalação de sistema de força

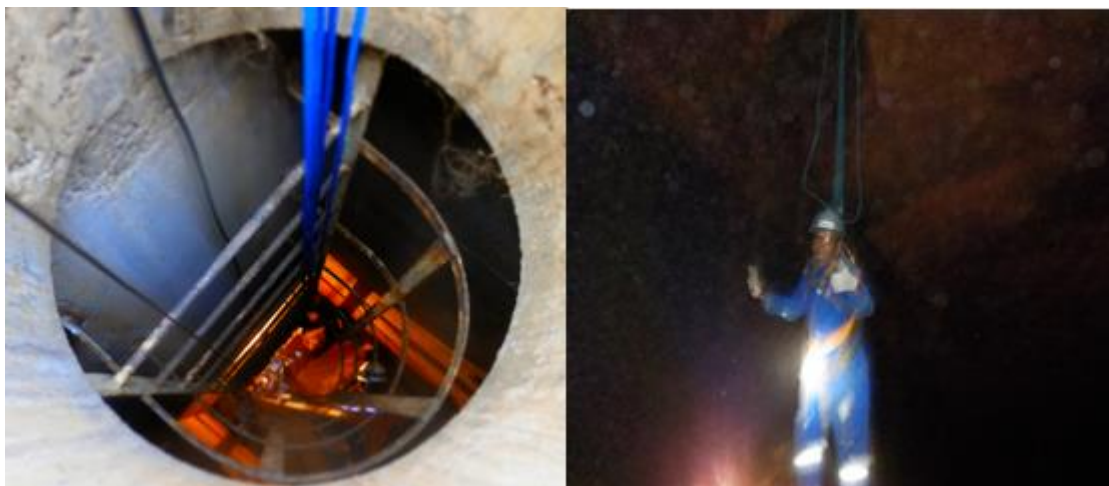
Deverá ser instalado sistema de força apoiado na estrutura metálica tubular composto de talhas e cordas com o objetivo de prover tanto o acesso dos inspetores à estrutura, tanto quanto o resgate dos mesmos em caso de acidente ou evacuação do ambiente da estrutura.

#### 4.3.2.3 Acesso ao ambiente da estrutura submersa

Concluída a instalação do sistema de força, o inspetor deverá vestir cinto de segurança visando acoplamento deste a um sistema de força mediante ligação da corda do sistema com a peça metálica da parte traseira do cinto;

Quanto à movimentação do sistema de força, o vigia do trabalho em espaço confinado será responsável, conforme a NR-33, pela operação do sistema de força para movimentar o inspetor entre o espaço confinado e o ambiente externa a este ambiente (Figura 1)

Figura 49 - Movimentação de trabalhadores para acesso ao espaço confinado da estrutura conforme norma NR3.



Fonte: (Autor, 2024)

#### 4.3.2.4 Precauções para execução da Fase 2

Deverão ser verificadas a execução de outras atividades simultânea à execução da inspeção que possam criar risco de acidente ou carrear substâncias que possam afetar a saúde dos inspetores durante a inspeção da estrutura.

#### 4.3.2.5 Pré-requisitos para execução da Fase 2

Para acesso ao ambiente da estrutura o inspetor deverá cumprir os requisitos:

[1] Treinamento da norma regulamentadora NR-33 em razão do trabalho em espaço confinado;

[2] Atestado de saúde ocupacional (ASO) atualizado para certificar que o trabalhador está apto para execução da inspeção.

[3] Portar Equipamentos de Proteção Individual (EPI) para proteção da integridade física dos inspetores tais como: Cinto de segurança, macacão para proteção contra umidade (TYVEC ou TYCHEN), capacete de segurança, óculos de segurança e galocha.

### **4.3.3 FASE 3: Inspeção de reconhecimento da estrutura**

A fase 3 trata da inspeção de reconhecimento da estrutura e tem o objetivo de fornecer subsídios ao planejamento da inspeção da estrutura, avaliação do recrutamento da bioincrustação sobre a estrutura e avaliação dos esquemas de pintura aplicados na estrutura.

#### **4.3.3.1 Inspeção visual**

- O ensaio visual direto ou indireto da estrutura de concreto armado será executado conforme descrito na norma ABNT NBR 16230/2013.
- Nesta inspeção devem ser utilizadas máquinas fotográficas semiprofissionais ou profissionais com flash de boa potência em razão da falta de iluminação no ambiente da estrutura.
- Poderão, também, ser utilizados painéis de LED que fornecem uma bola iluminação no ambiente da estrutura submersa em razão da deficiência na iluminação.
- Na inspeção da estrutura serão utilizados fissurômetros que são dispositivos utilizados na medição da abertura de fissuras.
- Dentre as possíveis manifestações patológicas destacam-se a bioincrustação sobre a superfície da estrutura; fissuras; corrosão e produto de corrosão de armadura; deslocamentos, dentre outros.
- Caso sejam detectadas a presença de bioincrustações sobre a superfície da estrutura, será necessário, remover, ainda que amostralmente, a bioincrustação em algumas áreas da estrutura (Figura 2) para investigar a ocorrência de manifestações patológicas encoberta pela mesma.

Figura 50 - Remoção amostral da bioincrustação para inspeção parcial da estrutura.



Fonte: (Autor, 2024)

- Para a remoção da bioincrustação poderá ser utilizado hidrojateamento com pressão de 27.000 psi mediante utilização de bico rotativo onde a pistola deverá formar um ângulo de  $45^\circ$  com a superfície da estrutura (Figura 3).
- Amostras da bioincrustação deverão ser coletadas e encaminhadas para análise laboratorial especializada, visando sua classificação em família, gênero e espécie para determinar a eficácia do anti-incrustante presente nos esquemas de pintura, a inibição do recrutamento e o próprio sistema aplicado.

Figura 51 - Hidrojateamento utilizando pressão de 27.000 psi com a pistola do equipamento de hidrojato posicionada a  $45^\circ$  com a superfície da estrutura.



Fonte: (Autor, 2024)

#### 4.3.3.2 Precauções para execução da Fase 3

Os inspetores deverão utilizar luvas de proteção (luvas de raspa) para evitar acidentes resultantes em ferimentos nas mãos no caso do inspetor escorregar e apoiar a mão na estrutura coberta por bioincrustação o que pode provocar cortes profundos.

É muito importante que o ângulo entre a pistola de Hidrojateamento e a superfície da estrutura seja de 45° pois ângulo diferente poderá provocar danos à superfície da estrutura tal como erosão da área hidrojateada.

#### 4.3.3.3 Pré-requisitos para execução da Fase 3

Para execução dessa inspeção da estrutura o inspetor deverá cumprir os requisitos:

[1] Qualificação para inspeção de estruturas de concreto armado conforme descrito na norma ABNT NBR 16230:2013;

[2] Ter boa acuidade visual para possibilitar a correta detecção das manifestações patológicas existentes, conforme deverá ser demonstrado no ASO do inspetor;

[3] Para execução da classificação da bioincrustação, o inspetor deverá estar habilitado como bacharel em ciências biológicas.

#### 4.3.4 FASE 4: Inspeção da bioincrustação sobre a estrutura

A fase 4 que trata da inspeção da estrutura e da bioincrustação sobre a estrutura e tem o objetivo de avaliar estas manifestações patológicas e seu recrutamento nas áreas na qual foi removida.

**Nota:** A fase 4 da inspeção deverá ser precedida pelas fases 1, 2 e 3 que tratam do isolamento e drenagem da estrutura, do acesso à estrutura e da inspeção e reconhecimento da estrutura.

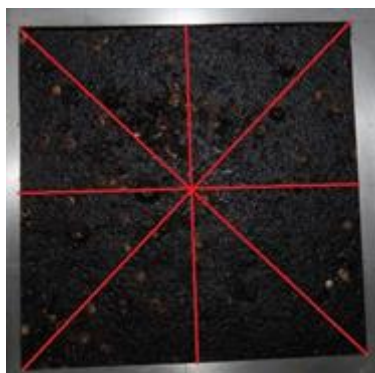
##### 4.3.4.1 Avaliação do recrutamento da bioincrustação

- Na inspeção para registro do recrutamento da bioincrustação deverá ser utilizada máquina fotográfica semiprofissional ou profissional com flash de boa potência em razão da falta de iluminação no ambiente da estrutura; frame (quadro) metálico com as medidas 20 cm x 20 cm com suporte para a câmera fotográfica de forma que, ao fotografar, a imagem mostre o recrutamento da bioincrustação sobre a área onde foi removida a bioincrustação, dentro dos limites da área de 400 cm<sup>2</sup> do frame;
- O resultado da avaliação do recrutamento da bioincrustação será representado na unidade "indivíduos por cm<sup>2</sup>", que corresponde a

divisão do número de indivíduos detectados na área do frame pela área de 400 cm<sup>2</sup>.

- Para evitar erros na contagem do número de indivíduos na área do frame, a imagem da área poderá ser dividida, usando, num total de quatro linhas assim dispostas: duas linhas (horizontal e longitudinal) e duas linhas diagonais dividindo a imagem da área em 8 subáreas (Figura 4) onde o número total de indivíduos na área do frame será o somatório dos indivíduos nas subáreas;

Figura 52 - Divisão da imagem do recrutamento da bioincrustação em 8 subáreas para facilitar a contagem dos indivíduos.



Fonte: (Autor, 2024)

- Poderão, também, ser utilizados, na produção das imagens, painéis de LED que fornecem uma boa iluminação no ambiente da estrutura submersa que, geralmente, tem iluminação deficiente.

#### 4.3.4.2 Precauções para execução da Fase 4

O inspetor deverá garantir que a bateria da máquina fotográfica que será utilizada na produção das imagens esteja totalmente carregada para evitar atrasos em decorrência do desmonte do suporte acoplado ao frame e do reajuste da posição para produção da imagem do recrutamento da bioincrustação dentro dos limites da área de 400 cm<sup>2</sup> do frame.

#### 4.3.4.3 Pré-requisitos para execução da Fase 4

Para execução desta fase não há requisitos específicos.

#### **4.3.5 FASE 5: Inspeção da estrutura da estrutura, bioincrustação e manifestações patológicas nos esquemas de pintura**

A fase 5 trata da inspeção da estrutura e do recrutamento da bioincrustação sobre os esquemas de pintura e tem os objetivos de avaliar manifestações patológicas da estrutura sobre os esquemas de pintura, o recrutamento da

bioincrustação, bem como o de avaliar o desempenho dos esquemas de pintura aplicados na estrutura submersa.

**Nota:** A fase 5 da inspeção deverá ser precedida pelas fases 1, 2, 3 e 4 que tratam do isolamento e drenagem da estrutura, do acesso à estrutura, da inspeção da estrutura e do recrutamento da bioincrustação sobre a estrutura.

#### 4.3.5.1 Avaliação do desempenho dos esquemas de pintura

- Na inspeção dos esquemas de pintura deverá ser utilizada máquina fotográfica semiprofissional ou profissional com flash de boa potência em razão da falta de iluminação no ambiente da estrutura; frame (quadro) metálico com as medidas 20 cm x 20 cm com suporte para a câmera fotográfica (Figura 5) de forma que, ao fotografar, a imagem mostre o recrutamento da bioincrustação sobre a área do esquema de pintura aplicado, dentro dos limites da área de 400 cm<sup>2</sup> do frame.

Figura 53 - Frame com área de 400 cm<sup>2</sup> (20 cm X 20 cm) com suporte para fixação de câmera fotográfica para possibilitar a captura de mais imagens.



Fonte: (Autor, 2024)

- O resultado da avaliação do recrutamento da bioincrustação sobre o esquema de pintura será representado na unidade “indivíduos por cm<sup>2</sup>”, que representa o resultado da divisão do número de indivíduos detectados na área do frame pela área de 400 cm<sup>2</sup> do frame. Neste caso, o frame utilizado no registro da inspeção dos esquemas de pintura possibilita a avaliação de eventual recrutamento da bioincrustação sobre os esquemas de pintura.

- Poderão, também, ser utilizados nesta inspeção, painéis de LED que fornecem uma bola iluminação em ambientes com deficiência de iluminação como no caso do ambiente de estruturas submersas;
- Além da avaliação da eficácia anti-incrustante dos esquemas de pintura aplicados na estrutura, são também avaliados a ocorrência de manifestações patológicas e as respectivas tensões de aderência à tração dos esquemas de pintura.

#### 4.3.5.2 Avaliação de manifestações patológicas nos esquemas de pintura

Para avaliação da ocorrência de manifestações patológicas nos esquemas de pintura deverá ser utilizada a norma ABNT NBR 15218/2022.

Dentre as possíveis manifestações patológicas que podem ser detectadas em esquemas de pintura podemos destacar a formação de bolhas, delaminação, mudança de cor, dentre outras.

#### 4.3.5.3 Avaliação da formação de bolhas nos esquemas de pintura

- Destacam-se, entre as manifestações patológicas dos esquemas de pintura a formação de bolhas que pode ser formada, por exemplo, em razão da pressão de vapor da umidade da estrutura sobre o esquema de pintura aplicado nesta estrutura.
- Uma das referências que pode ser utilizada na avaliação da formação de bolhas em esquemas de pintura é a norma ASTM D-714-02 (2017) que utiliza a comparação entre padrões definidos em figuras apresentadas no texto da norma com o registro da manifestação patológica detectada quando da execução da inspeção.

**Nota:** A norma ASTM D714-02 considera, na avaliação, a combinação do tamanho com a frequência das bolhas.

- Quanto ao tamanho esta norma apresenta três classes principais variando de 0 a 10 onde 10 significa ausência de bolhas, 8 é o menor tamanho que pode ser detectado pelo olho humano e 6, 4 e 2 tamanhos progressivamente maiores.
- Quanto à frequência esta norma apresenta quatro classes principais como Densa, Médio densa, Média e Pouco. A combinação das duas características resulta na avaliação da formação de bolhas em esquemas de pintura.

#### 4.3.5.4 Avaliação da tensão de aderência à tração dos esquemas de pintura

Um esquema de pintura é composto de substrato (onde está aplicado os esquemas de pintura), a tinta de fundo (responsável pela proteção anticorrosiva da estrutura), a tinta de acabamento (responsável pela proteção do esquema de

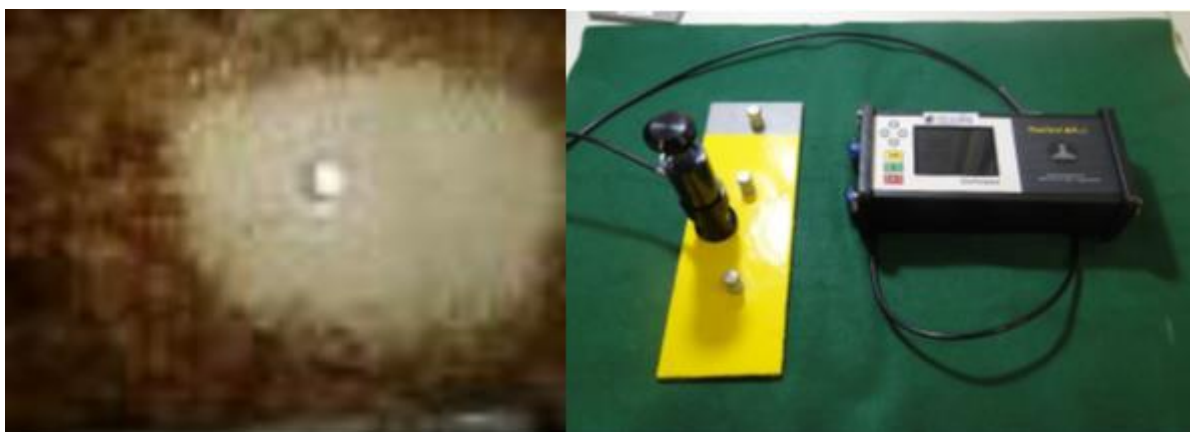
pintura face aos agentes ambientais) e o adesivo que é a cola utilizada para fixar o carretel do aparelho de medição da aderência dos esquemas de pintura.

Em alguns casos, dependendo da necessidade, é também utilizada, uma tinta intermediária com o objetivo de aumentar a espessura do esquema de pintura.

Uma das referências que pode ser utilizada na avaliação da aderência à tração de esquemas de pintura é a norma ASTM D-7234-22 e esta avaliação tem como resultado o valor da tensão de aderência entre:

- [1] o substrato e a tinta de fundo;
- [2] as tintas de fundo e de acabamento;
- [3] a tinta de acabamento e o adesivo;
- [4] entre o adesivo e o carretel do aparelho de medição (Figura 6).

Figura 54 – O Carretel (*dolly*) é colado sobre o esquema de pintura que está aplicado na superfície da estrutura, para medição da tensão de aderência à tração.



Fonte: (Autor, 2024)

A ruptura resultante da aplicação da tração de arranchamento poderá ocorrer tanto entre os elementos do esquema de pintura como no próprio elemento do esquema de pintura. Quando a ruptura ocorre entre os elementos do esquema de pintura, a falha é denominada adesiva; quando a ruptura ocorre no elemento do esquema de pintura, a falha é denominada coesiva.

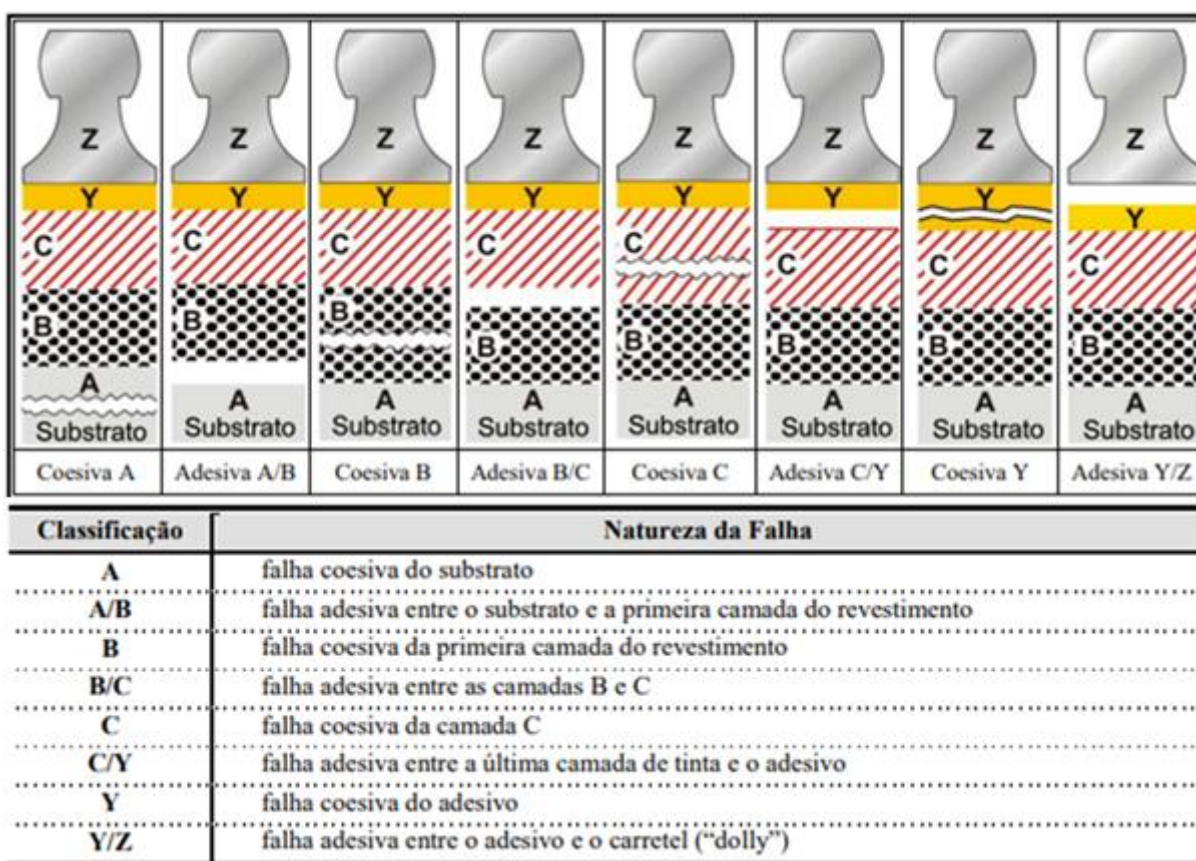
Para efeito da avaliação da falha na ruptura:

- O esquema de pintura, o substrato é denominado pela letra A;
- A tinta de fundo é denominada pela letra B;
- A tinta de acabamento é denominada pela letra C;

- A cola é denominada pela letra Y;
- O carretel é denominado pela letra Z.

A denominação da falha do esquema de pintura utiliza a combinação das letras para caracterizar os dois tipos de falha adesiva ou coesiva (Figura 7).

Figura 55 - Ilustração mostrando os tipos de falha para avaliação do tipo de falha resultante do ensaio de aderência à tração.



Fonte: (FRAGATA; ORDINE; AMORIM, 2012)

Ex.:

- A/B - ruptura entre o substrato e a tinta de fundo como falha adesiva;
- B - ruptura na camada da tinta de fundo.

#### 4.3.5.5 Precauções para execução da Fase 5

O adesivo a ser utilizado entre o carretel do aparelho de medição e a tinta de acabamento deverá ter uma aderência à tração maior que a aderência entre as tintas de fundo e acabamento do esquema de pintura e maior que a aderência

entre a tinta de acabamento e o carretel do aparelho de medição para possibilitar a avaliação da aderência entre as tintas ou entre estas e o substrato e não do adesivo utilizado.

#### 4.3.5.6 Pré-Requisitos para execução da Fase 5

Para execução dessa inspeção, o inspetor deverá cumprir os requisitos:

[1] Qualificação para inspeção de estruturas de concreto armado conforme descrito na norma ABNT NBR 16230:2013 e ABNT NBR 15218:2022;

[2] Ter boa acuidade visual para possibilitar a correta detecção das manifestações patológicas existentes nos esquemas de pintura, conforme deverá ser demonstrado no ASO do inspetor.

#### **4.3.6 FASE 6: Reinspeção ou inspeção periódica da estrutura do recrutamento da bioincrustação sobre a estrutura e dos esquemas de pintura aplicados na estrutura**

A fase 6 trata da reinspeção ou inspeção periódica da estrutura, da bioincrustação e dos esquemas de pintura e tem os objetivos de avaliar manifestações patológicas da estrutura; avaliar recrutamento da bioincrustação e avaliar a eficácia anticorrosiva e anti-incrustante dos esquemas de pintura aplicados na estrutura.

Assim como na fase 5, a fase 6 da inspeção, que é repetição periódica da inspeção, deverá ser precedida pelas fases anteriores.

## 5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL COMITEE. **ASTM D-714-02**. Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints. Engineered materials handbook. USA: ASM International, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ministério do Trabalho e Emprego. NBR 15218:2018. **Critério para qualificação e certificação de inspetores de pintura industrial**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ministério do Trabalho e Emprego. NBR 16230:2013. **Inspeção de estruturas de concreto - Qualificação e certificação de pessoal - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora n.º 35** (Trabalho em Altura). Brasília, DF, Brasil, 2014. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR35.pdf>. Acesso em: 18/12/2024.

Eletronuclear. **Nossas atividades**. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-1.aspx>. Acesso em 27/10/2024.

Eletronuclear. **Nossas atividades**. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-2.aspx>. Acesso em 27/10/2024.

Eletronuclear. **Nossas atividades**. Disponível em: <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>. Acesso em 27/10/2024

GENERIC AGING LESSONS LEARNED (GALL) Report — Final Report (NUREG-1801, Revision 2). U.S. **Nuclear Regulatory Commission**. 2010. Disponível em: <https://www.nrc.gov/docs/ML1034/ML103490041.pdf> Acesso em 18/12/2024.

GOMES FILHO, S. D. “**Protocolo para avaliação da eficácia anti-incrustante de Esquema de pinturas aplicados na superfície interna das galerias e do túnel de descarga de água do mar que refrigera o sistema de vapor principal da usina nuclear de angra 1**” Associação Brasileira de Patologias das Construções. Anais do Congresso Brasileiro de Patologias das Construções, Fortaleza CE, pag. 3679-3690 (Abr) 2020.

GONÇALVES, O. D. **Programa nuclear brasileiro. Passado, presente, futuro**. Disponível em: [https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/475/1/Apresentacao\\_Energia\\_Nuclear\\_CNEN.pdf](https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/475/1/Apresentacao_Energia_Nuclear_CNEN.pdf). Acesso em 18/12/2024.

## ANEXO II



A  
UNIFOA – Centro Universitário de Volta Redonda  
Mestrado Profissional em Materiais – MEMAT  
Campus Olézio Galotti – Avenida Dauro Peixoto Aragão, 1325  
Três Poços, Volta Redonda – CEP 27240-560

Ref.: Projeto Final - Protocolo para avaliação do desempenho de seis esquemas de pintura aplicados na superfície interna da estrutura de descarga do sistema de água de circulação da Usina Nuclear Angra I

Prezados

Vimos através desta, formalizar a realização de uma parceria entre o UniFoa – Centro Universitário de Volta Redonda e a iTech Analytics para fomentar o desenvolvimento do projeto supracitado a ser apresentado como dissertação pelo aluno Sebastião Domingos Gomes Filho para obtenção do título de Mestre em Materiais.

A iTech Analytics, por meio da presente parceria firmada, autoriza a utilização de seus equipamentos e laboratórios para desenvolvimento de ensaios de caracterização da matéria-prima e compósito final.

Adicionalmente a iTech Analytics autoriza a utilização de seu nome e dados relacionados às suas atividades na dissertação e eventuais artigos científicos produzidos no presente projeto, cabendo uma avaliação preliminar do conteúdo do texto por parte da empresa.

Atenciosamente

  
iTech Analytics  
Gerente Geral

