REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ANÁLISE DE MATERIAIS DE REVESTIMENTO DE ESTRUTURAS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

ANALYSIS OF COATING MATERIALS FOR SEWAGE TREATMENT PLANTS STRUCTURES

ANÁLISIS DE MATERIALES DE RECUBRIMIENTO PARA ESTRUCTURAS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Luiz Carlos Mendes[1]

e676666
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i7.6666

PUBLICADO: 7/2025

RESUMO

As estruturas de concreto das estações de tratamento de esgotos desempenham um papel muito importante e significativo no desenvolvimento das cidades, assim como as pontes e os viadutos. Embora com naturezas e finalidades diferentes, o ponto em comum destas estruturas reside no fato de que é inconcebível deixá-las à mercê das deteriorações causadas por agentes agressivos, sejam de natureza orgânica ou de natureza ambiental. O objetivo deste artigo é apresentar uma avaliação sistemática dos diversos materiais utilizados como revestimentos protetores de estruturas de concreto de estações de tratamento de esgotos ou águas residuais. Os materiais de revestimento são estudados em detalhe, segundo os ensaios de caracterização e, em seguida, comparados para diagnose e análise de desempenho. Os resultados obtidos na análise terão utilidade prática para os gestores das estruturas de tratamento de esgotos, uma vez que apresentam diretrizes para tomadas de decisões na escolha do tipo de revestimento protetor a ser empregado nestas estruturas.

PALAVRAS-CHAVE: Proteção do concreto armado. Revestimentos de concreto. Impermeabilização do concreto. Manutenção do concreto. Estação de tratamento de esgoto.

ABSTRACT

The concrete structures of sewage treatment plants play a very important and significant role in the development of cities, as do bridges and viaducts. Although they have different natures and purposes, the common point of these structures is that it is inconceivable to leave them at the mercy of deterioration caused by aggressive agents, whether organic or environmental. The objective of this article is to present a systematic evaluation of the various materials used as protective coatings for concrete structures of sewage or wastewater treatment plants. The coating materials are studied in detail, according to characterization tests and then compared for diagnosis and performance analysis. The results obtained in the analysis will be of practical use to managers of sewage treatment structures, since they present guidelines for decision-making in choosing the type of protective coating to be used in these structures.

KEYWORDS: *Reinforced concrete protection. Concrete coatings. Concrete waterproofing. Concrete maintenance. Sewage treatment plant.*

RESUMEN

Las estructuras de hormigón de las plantas de tratamiento de aguas residuales desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de las ciudades, al igual que los puentes y viaductos. Si bien sus características y propósitos son diferentes, el punto en común de estas estructuras es que es

[1] Doutor em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense. Engenheiro Civil pela Universidade Federal Fluminense. Professor Titular do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense - Niterói - RJ.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

inconcebible dejarlas a merced del deterioro causado por agentes agresivos, ya sean orgánicos o ambientales. El objetivo de este artículo es presentar una evaluación sistemática de los diversos materiales utilizados como recubrimientos protectores para estructuras de hormigón de plantas de tratamiento de aguas residuales. Los materiales de recubrimiento se estudian en detalle mediante ensayos de caracterización y posteriormente se comparan para el diagnóstico y el análisis de rendimiento. Los resultados obtenidos en el análisis serán de utilidad práctica para los administradores de estructuras de tratamiento de aguas residuales, ya que ofrecen directrices para la toma de decisiones en la elección del tipo de recubrimiento protector que se utilizará en estas estructuras.

***PALABRAS CLAVE**: Protección de hormigón armado. Revestimientos de hormigón. Impermeabilización de hormigón. Mantenimiento de hormigón. Planta de tratamiento de aguas residuales.*

INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho dos materiais usados como revestimentos protetores do concreto das estações de tratamento do esgoto (ETE), baseado no comportamento de corpos-de-prova de revestimentos protetores aplicados sobre bases de concreto ou de materiais com matriz cimentícia, sendo a avaliação feita por meio de ensaios laboratoriais segundo normas técnicas específicas. Justifica-se a importância da pesquisa pela demanda das empresas que executam os revestimentos protetores das estações de tratamento, pela originalidade do assunto e pela falta de pesquisas semelhantes com estes materiais.

1. ENSAIOS PARA CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO

Os ensaios realizados visaram a avaliação comparativa entre determinados produtos normalmente utilizados como materiais de revestimento ao concreto das ETE. Foram realizados ensaios nos materiais sob os enfoques das características de desempenho, resistência ao ataque por agentes químicos e resistência ao ataque por agentes biológicos, os quais representaram simulações das situações reais de exposição dos revestimentos à atmosfera agressiva existente nas ETE. Os ensaios realizados que serviram como diretrizes para as caracterizações e avaliações dos materiais para revestimentos das ETE estão descritos a seguir, respectivamente, compreendendo procedimentos descritos em normas técnicas pertinentes, de acordo com Jordy (2009).

Os ensaios de desempenho empregados são descritos por:

-Resistência à tração e alongamento na ruptura (NBR 7462/92);

-Envelhecimento acelerado “QUV” (ASTM G 154/2006);

-Estanqueidade – pressão positiva (NBR 10787/94);

-Estanqueidade – pressão negativa (NBR 10787/94);

-Resistência à abrasão (ASTM D 4060/2001);

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

-Resistência de aderência (NBR 14050/98);

-Resistência à tração e alongamento na ruptura (NBR 7462/92) e após envelhecimento acelerado (ASTM G 154/2006).

Os ensaios de resistência química são descritos por:

-Resistência à névoa salina ("salt spray – fog") (ASTM B 117/2004);

-Resistência à exposição ao dióxido de enxofre (SO_2) (NBR 8096/83);

-Resistência química de revestimentos (ASTM D 3912/89).

2. MATERIAIS DE REVESTIMENTO DE ETE ESCOLHIDOS

A Tabela 1 apresenta os materiais normalmente utilizados como revestimentos protetores de ETE (estações de tratamento de esgotos), os quais foram escolhidos para avaliação e comparação, objetivo deste artigo, segundo Jordy (2009).

Tabela 1. Material *versus* a descrição expedita

Material	Descrição expedita
A	Epóxi isento de solvente
B	Epóxi com alcatrão de hulha
C	Poliuretano com carga de asfalto I
D	Poliuretano com carga de asfalto II
E	Epóxi-poliuretano
F	Argamassa cimento-polimero

(Fonte: o autor)

3. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS TRAÇÃO E ALONGAMENTO NA RUPTURA, TENSÃO NA RUPTURA E ENVELHECIMENTO ACELERADO

Para a realização dos ensaios de tração e alongamento na ruptura (NBR 7462/92) foram moldados filmes com os materiais de revestimento de ETE na espessura de 1 mm, tendo sido procedida a cura dos filmes sob temperatura ambiente no período de 20 dias. Em seguida, com utilização de moldes apropriados foram confeccionados três corpos-de-prova em forma de "gravata borboleta", para cada um dos materiais. Os conjuntos de corpos-de-prova de cada material foram submetidos a ensaio de tração no equipamento universal de ensaio, como mostra a Figura 1.

São designados:

ETE - estação de tratamento de esgotos;

QUV - equipamento onde se fizeram os ensaios de tração, alongamento e envelhecimento acelerado dos corpos de prova;

UV - raios ultravioleta;

m.c.a – metro por coluna d'água.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



Figura 1. Ensaios de resistência à tração e alongamento, conforme a NBR 7462
(Fonte: o autor)

Para se apresentar os resultados dos Ensaios de Tensão na Ruptura (NBR 7462/92), teve-se que ordenar os resultados dos ensaios referentes à tensão de ruptura a 500h QUV em ordem decrescente, como são apresentados na Tabela 2, contendo o *ranking* dos materiais referentes à tensão de ruptura 500 h no QUV.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 2. *Ranking* referentes à tensão de ruptura com 500 h QUV

Ranking	**Materiais**	**Tensão de ruptura 500 h QUV (MPa)**
1º	D	2,77
2º	F	1,96
3º	C	0,86
Não aplicável	A	Não aplicável
Não aplicável	B	Não aplicável
Não aplicável	E	Não aplicável

(Fonte: o autor)

Na apresentação dos resultados dos Ensaios de Alongamento na Ruptura (NBR 7462/92), foram feitas as organizações dos resultados do ensaio referentes ao alongamento na ruptura a 500 h QUV em ordem decrescente, conforme estão apresentados na Tabela 3, com o *ranking* dos materiais referentes ao alongamento na ruptura a 500 h no QUV.

Tabela 3. *Ranking* dos materiais referentes ao alongamento na ruptura com 500 h QUV

Ranking	**Materiais**	**Alongamento na ruptura 500 h QUV (%)**
1º	D	336,00
2º	C	197,30
3º	F	57,30
Não aplicável	A	Não aplicável
Não aplicável	B	Não aplicável
Não aplicável	E	Não aplicável

(Fonte: o autor)

Na realização dos ensaios de envelhecimento acelerado (UV) e vapor de água (ASTM G 154/2006) foram preparados conjuntos de dois corpos-de-prova por cada material de revestimento de ETE (estação de tratamento de esgoto) aplicados sobre base em placa de fibrocimento, tendo sido os corpos de prova curados por 20 dias sob temperatura ambiente, segundo Jordy (2009).

Um corpo-de-prova de cada um dos seis materiais de revestimento de ETE foi ensaiado no equipamento QUV, conforme Figura 2, sendo cada um submetido a ciclos de 4h sob raios ultravioleta (UV) à temperatura de 60ºC e 4h sob ação de vapor d'água à temperatura de 50º C, por período de 500h.

A Foto 2 mostra corpos-de-prova do programa experimental sobre suporte metálico antes da introdução no equipamento QUV.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



Figura 2. Corpos-de-prova no equipamento QUV para o ensaio ASTM G 154/2006
(Fonte: o autor)

Ordenando-se de forma crescente os efeitos da ação do envelhecimento acelerado e associando-se graus (s_i) de 1 a 7, tem-se os valores dos resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Efeitos da ação do envelhecimento x graus (s_i)

Letras	Efeitos da ação do envelhecimento	Grau (s_i)
a	Amarelamento	1
f	Gizamento	2
g	Perda de Brilho	3
c	Enrijecimentos	4
e	Fragilidade ao risco	5
d	Enrugamento	6
b	Craqueamento	7

(Fonte: o autor)

Associando-se valores (1, 2, 4, 8) às intensidades dos efeitos da ação do envelhecimento acelerado, obtém-se a descrição dos efeitos mostrada na Tabela 5.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 5. Intensidades dos efeitos da ação do envelhecimento x valor (l_j)

Intensidade	Valor (l_j)
Sem efeito	0
Muito baixa	1
Baixa	2
Moderada	4
Severa	8

(Fonte: o autor)

Nos resultados dos ensaios de envelhecimento acelerado (ASTM G 154/2006) designam-se (si) os graus dos efeitos da ação do envelhecimento, (l_j) os valores para a intensidade dos efeitos e, fazendo-se o somatório $\Sigma(s_i.l_j)$, obtém-se valores diferenciados para os materiais em estudo, ou seja, o material de menor somatório será o material de melhor desempenho ao envelhecimento acelerado e o de maior somatório será o material de pior desempenho, conforme se apresentam na Tabela 6.

Tabela 6. Materiais de revestimento x $\Sigma s_i.l_j$ (referentes ao envelhecimento acelerado)

Material	500h de QUV	500h de QUV ($\Sigma s_i.l_j$)	Resultado ($\Sigma s_i.l_j$)
A	8a /8g /8f	(8x1) + (8x3) + (8x2)	48
B	4g /4f	(4x3) + (4x2)	20
C	8d / 4g	(8x6) + (4x3)	60
D	8g /2f	(8x3) + (2x2)	28
E	2a /4g/4e	(2x1) + (4x3) + (4x5)	34
F	0	0	0

(Fonte: o autor)

Ordenando-se os resultados de somatório ($\Sigma s_i.l_j$) de forma crescente tem-se o *ranking* dos materiais referentes ao ensaio ASTM G 154/2006, envelhecimento acelerado, como se mostram na Tabela 7.

Tabela 7. *Ranking* dos materiais referente ao ensaio ASTM G 154/2006

Ranking	Material	Resultado
1º	F	0
2º	B	20
3º	D	28
4º	E	34
5º	A	48
6º	C	60

(Fonte: o autor)

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

4. ENSAIO DE ESTANQUEIDADE SOB PRESSÃO POSITIVA (NBR 10787/94)

Na elaboração dos ensaios de estanqueidade sob pressão positiva foram preparados corpos-de-prova formados por blocos de concreto, traço 0,26:1,0:1,0 (cimento:areia:pedra), dimensões 250 mm x 250 mm x 120 mm, tendo sido curados por imersão durante 28 dias. Após o período de cura do concreto foram aplicados sobre uma das faces maiores dos corpos-de-prova materiais de revestimento de ETE, tendo sido os ditos revestimentos curados sob temperatura ambiente por 20 dias.

Os corpos-de-prova revestidos foram ensaiados no equipamento de penetração de água sob pressão, estabelecidos pela NBR 10787/94, tendo sido submetidos à pressão de 0,5 MPa (50 m.c.a.) por período de 48 h, conforme ilustrados na Figura 3.



Figura 3. Corpos-de-prova no dispositivo de ensaio da NBR 10787/94
(Fonte: o autor)

Na Tabela 8 encontram-se resumidas as avaliações da estanqueidade sob pressão positiva de 0,5 MPa, exemplificado para o material A, a partir das observações do ensaio da NBR 10787/94.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 8. Avaliações da estanqueidade sob pressão positiva – material A

Material	CP	material+bloco concreto	Ocorrências na matriz da base em concreto ou na superfície do material de revestimento
A	1	Estanque	Concreto úmido em seu interior, exceto nas bordas
	2	Estanque	Concreto úmido em seu interior, exceto nas bordas
	3	Estanque	Concreto úmido em seu interior, exceto nas bordas

(Fonte: o autor)

Nos resultados dos ensaios de estanqueidade de pressão positiva (NBR 10787) associam-se os níveis 3, 2, 1 e zero, aos tipos de estanqueidade observadas nos sistemas material / bloco de concreto, em ordem decrescente, desde o melhor tipo de estanqueidade até o pior tipo, e obtém-se as descrições apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9. Nível x tipo de estanqueidade à pressão positiva

Nível	Tipo de estanqueidade do material + bloco de concreto
3	Estanqueidade plena
2	Estanqueidade e concreto úmido no interior exceto nas bordas
1	Estanqueidade e concreto úmido no interior exceto nas bordas e o produto deformou sob pressão do anel de vedação
ZERO	Não estanqueidade e/ou matriz em concreto úmida no interior (saturada)

(Fonte: o autor)

Ordenando-se os resultados de níveis e tipos de ocorrência da estanqueidade tem-se o *ranking* dos materiais referente ao ensaio de estanqueidade - pressão positiva (NBR 10787), como na Tabela 10. No caso de mais de um tipo de estanqueidade para um material, considerou-se a situação mais desfavorável, isto é, o tipo de estanqueidade com nível mais inferior, como ocorreu nos casos dos ensaios nos materiais B e D.

Tabela 10. *Ranking* dos materiais referentes à pressão positiva (NBR 10787/94)

Ranking	**Material**	**Resultado (nível)**
1º	A	2
1º	B	2
1º	E	2
2º	C	1
Sem *ranking*	D	ZERO
Sem *ranking*	F	ZERO

(Fonte: o autor)

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

5. ENSAIO DE ESTANQUEIDADE SOB PRESSÃO NEGATIVA (NBR 10787/94)

No ensaio de estanqueidade sob pressão negativa foram preparados corpos-de-prova formados por blocos de concreto, traço 0,26:1,0:1,0 (cimento:areia:pedra), dimensões 0,25 m x 0,25 m x 0,12 m, tendo sido curados por imersão durante 28 dias. Após a cura do concreto foram aplicados os revestimentos sobre as faces dos blocos e curados à temperatura ambiente por 20 dias. Os corpos-de-prova (sistemas materiais de revestimento / blocos de concreto) foram ensaiados no equipamento de penetração de água sob pressão, conforme prescrito pela NBR 10787/94, tendo sido submetidos a pressões negativas nas intensidades 0,1 MPa (10 m.c.a.) por período de 48 h, 0,3 MPa (30 m.c.a.) por período de 24 h e 0,5 MPa (50 m.c.a.) por período de 24 horas conforme ilustrado na Figura 4, onde (m.c.a) significa metro por coluna dágua.



Figura 4. Detalhe da aplicação de água sob pressão negativa em corpos-de-prova
(Fonte: o autor)

Na Tabela 11 encontram-se resumidas as avaliações da estanqueidade sob pressão negativa, exemplificada para o material E, a partir das observações do ensaio da NBR 10787/94.

Tabela 11. Avaliações do ensaio de estanqueidade sob pressão negativa

Material	CP	Sistema material + bloco de concreto			Ocorrências na matriz da base em concreto ou na superfície do material de revestimento
		0,1 MPa	0,3 MPa	0,5 MPa	
E	1	Estanque	Estanque	Estanque	-
	2	Estanque	Estanque	Estanque	-
	3	Estanque	Estanque	Estanque	-

(Fonte: o autor)

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Nos resultados dos ensaios de estanqueidade sob pressão negativa (NBR 10787/94) associam-se níveis 1, ZERO aos tipos de estanqueidade observadas nos sistemas material / bloco de concreto, em ordem decrescente, desde o melhor tipo de estanqueidade até o pior tipo de estanqueidade, conforme indicados na Tabela 12.

Tabela 12. Nível x tipo de estanqueidade à pressão negativa

Nível	Tipo de estanqueidade do sistema material / bloco de concreto
1	Estanqueidade plena
ZERO	Não estanque

(Fonte: o autor)

Ordenando-se os resultados de níveis e tipos de ocorrência da estanqueidade tem-se o *ranking* dos materiais referentes ao ensaio de estanqueidade - pressão negativa (NBR 10787/94), como indicado na Tabela 13. No caso de mais de um tipo de estanqueidade para um material, considerou-se a situação mais desfavorável, isto é, o tipo de estanqueidade com nível mais inferior como ocorreu nos casos dos ensaios no material B.

Tabela 13. *Ranking* dos materiais referentes à pressão negativa (NBR 10787/94)

Ranking	**Material**	**Resultado (nível)**
1º	A	1
1º	E	1
Sem *ranking*	B	ZERO
Sem *ranking*	F	ZERO
Não aplicável	C	Não aplicável
Não aplicável	D	Não aplicável

(Fonte: o autor)

6. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO *TABER* (ASTM D 4060/2001)

No ensaio de resistência à abrasão *Taber* foram preparados três corpos-de-prova por material de revestimento e aplicados em placas de fibrocimento, tendo sido curados à temperatura ambiente por 20 dias. Os corpos-de-prova foram ensaiados no abrasador de *Taber*, conforme Figura 5, a cada 200 ciclos até 1000 ciclos de abrasão com o rebolo CS-17. Nos ensaios procedeu-se ao registro das perdas de massa dos materiais de revestimento em balança apropriada a cada etapa de 200 ciclos até 1000 ciclos de abrasão.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.



Figura 5. Corpo-de-prova material A no abrasador de "Taber"
(Fonte: o autor)

A Tabela 14 apresenta as perdas de massa obtidas nos ensaios de resistência à abrasão, feita pelo abrasador *Taber* nos materiais de revestimento A, B, C, D, E, F a cada 200 ciclos até 1000 ciclos de abrasão.

Tabela 14. Materiais x Perdas de massa por abrasão a cada 200 ciclos

Materiais	**ciclos**				
	200	400	600	800	1000
	Perda de massa por abrasão (mg)				
A	53,85	79,65	97,00	109,70	124,80
B	75,43	109,93	143,13	173,47	207,23
C	1,10	23,10	24,30	30,50	36,50
D	17,00	32,07	55,55,53	83,13	109,80
E	39,10	62,00	90,67	118,73	138,50
F	30,10	48,80	77,13	97,90	120,20

(Fonte: o autor)

Ao serem ordenados os resultados dos ensaios de resistência à abrasão *Taber* (ASTM 4060/2001) em ordem crescente de perda de massa ao abrasão, após 1000 ciclos no equipamento de ensaio, obteve-se a Tabela 15 compreendendo o *ranking* dos materiais referentes

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

à resistência à abrasão.

Tabela 15. *Ranking* dos materiais referentes à resistência à abrasão

Ranking	Materiais	Perda de massa (mg)
1º	C	36,5
2º	D	109,8
3º	F	120,2
4º	A	124,8
5º	E	138,5
6º	B	207,23

(Fonte: o autor)

7. ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA (NBR 14050/98)

Nos ensaios de resistência de aderência foram preparados seis corpos-de-prova de cada material de revestimento, respectivamente aplicados sobre placas de concreto 25 cm x 25 cm x 2,5 cm, traço 0,26:1,0:1,0 (c:a:b) curadas à imersão por 28 dias, tendo sido os tais revestimentos curados à temperatura ambiente por 20 dias. Em seguida, os corpos-de-prova foram delimitados por meio de cortes nos revestimentos com uso de serra copo diamantada.

Em seguida, pastilhas foram coladas com adesivo sobre o revestimento, este previamente cortado com serra copo, com obtenção dos seis corpos-de-prova do material tipo A para os ensaios de resistência de aderência.

Os corpos-de-prova foram ensaiados no equipamento de arrancamento *Dinatest* para determinação da resistência de aderência dos revestimentos sobre as placas de concreto, conforme são mostrados na Figura 6. São apresentadas as avaliações dos ensaios de resistência de aderência a partir dos valores médios obtidos nos seis de corpos-de-prova de cada material de revestimento A, B, C, D, E, F.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



Figura 6. Equipamento para arrancamento conforme a NBR 14050/98 *(pull out test)*
(Fonte: o autor)

Ao serem ordenados os resultados dos ensaios de resistência de arrancamento, ou resistência de aderência (NBR 14050/98), em ordem decrescente de tensão, obteve-se a Tabela 16, compreendendo o *ranking* dos materiais referentes à resistência de aderência.

Tabela 16. *Ranking* dos materiais referentes à resistência de aderência

Ranking	**Materiais**	**Resistência de Aderência (MPa)**
1º	B	2,58
2º	A	2,31
3º	C	1,70
4º	E	1,58
5º	D	1,26
6º	F	0,30

(Fonte: o autor)

8. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À NÉVOA SALINA (ASTM B 117/2004)

Os corpos-de-prova dos materiais de revestimento foram ensaiados no equipamento Q-FOG, tendo sido submetidos a 10 ciclos de névoa salina (*salt spray*), por períodos de 24 h cada ciclo, conforme ilustrados na Figura 7.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



Figura 7. Exposição à névoa salina (Q-FOG) conforme o ensaio ASTM B 117/2004
(Fonte: o autor)

Ordenando-se de forma crescente os efeitos da ação da névoa salina sobre os materiais de revestimentos, e associando-se graus (s_i) de 1 a 10, são apresentadas as disposições conforme a Tabela 17.

Tabela 17. Efeitos da ação da névoa saliva x graus (s_i)

Letras	Efeitos	Grau (s_i)
a	Amarelamento	1
f	Gizamento	2
g	Perda de Brilho	3
c	Enrijecimento	4
e	Fragilidade ao risco	5
d	Enrugamento	6
b	Craqueamento	7
h	Falha de aderência	8
i	Absorção da névoa salina	9
j	Permeabilidade à névoa salina	10

(Fonte: o autor)

Associam-se valores (0, 1, 2, 4, 8) às intensidades dos efeitos da névoa salina, como mostrados na Tabela 19.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 18. Intensidades dos efeitos da névoa salina x valor (l_j)

Intensidade	Valor (l_j)
Sem efeito	0
Muito baixa	1
Baixa	2
Moderada	4
Severa	8

(Fonte: o autor)

Nos resultados dos ensaios de resistência à névoa salina (ASTM B 117/2004), foram utilizados os parâmetros (s_i) como sendo os graus dos efeitos da ação da névoa salina e (l_j) os valores para a intensidade dos efeitos, fazendo-se o somatório $\Sigma(s_i.l_j)$. O material de menor somatório será o de melhor desempenho à névoa salina, como mostra na Tabela 19.

Tabela 19. Material de revestimento x $\Sigma s_i.l_j$ (referente à névoa salina)

Material de revestimento	Observação após exposição à névoa salina	($\Sigma s_i.l_j$)	Resultado ($\Sigma s_i.l_j$)
A	1j	(1x10)	10
B	8h+4c+2j	(8x8)+(4x4)+(2x10)	100
C	2h+2j	(2x8)+(2x10)	36
D	4h+2j	(4x8)+(2x10)	52
E	2j	(2x10)	20
F	8i+8j	(8x9)+(8x10)	152

(Fonte: o autor)

Ordenando-se os resultados de somatório ($\Sigma s_i.l_j$) de forma crescente, tem-se o *ranking* dos materiais referentes ao ensaio ASTM B 117/2004, resistência à névoa salina, como mostrados na Tabela 20.

Tabela 20. *Ranking* dos materiais referente ao ensaio ASTM B 117/2004

Ranking	Material	Resultado
1º	A	10
2º	E	20
3º	C	36
4º	D	52
5º	B	100
6º	F	152

(Fonte: o autor)

9. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À NÉVOA DE DIÓXIDO DE ENXOFRE SO_2 (NBR 8096/83)

Os corpos-de-prova dos materiais de revestimento foram ensaiados no equipamento

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

formador de névoa de SO_2, tendo sido submetidos a 20 ciclos de névoa de SO_2, por períodos de 8 h e intervalos de 16 h cada ciclo, incluindo 30 minutos para observações de inspeção por cada ciclo, conforme ilustrado na Figura 8 e de acordo com Jordy (2009).



Figura 8. Exposição à névoa de SO_2 conforme o ensaio NBR 8096/83.
(Fonte: o autor)

Ordenam-se de forma crescente os efeitos da ação da névoa de dióxido de enxofre (SO_2) sobre os materiais de revestimentos de ETE e associam-se graus (s_i) de 1 a 10, conforme a Tabela 21.

Tabela 21. Efeitos da ação da névoa de dióxido de enxofre (SO_2) x graus (s_i)

Letras	Efeitos	Grau (s_i)
a	Amarelamento ou mudança de cor ou manchas	1
f	Gizamento	2
g	Perda de Brilho	3
c	Enrijecimento	4
e	Fragilidade ao risco	5
d	Enrugamento	6
b	Craqueamento	7
h	Falha de aderência	8
i	Absorção da névoa de SO_2	9
j	Permeabilidade à névoa SO_2	10

(Fonte: o autor)

Associam-se valores (0, 1, 2, 4, 8) às intensidades dos efeitos da névoa de dióxido de enxofre (SO_2), como na Tabela 22.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Tabela 22. Intensidades dos efeitos da névoa de SO_2 x valor (l_j)

Intensidade	Valor (l_j)
Sem efeito	0
Muito baixa	1
Baixa	2
Moderada	4
Severa	8

(Fonte: o autor)

Nos resultados do ensaio de resistência à névoa de SO_2 foram tomados (s_i) os graus dos efeitos da ação da névoa de dióxido de enxofre e (l_j) os valores para a intensidade dos efeitos, fazendo-se o somatório $\Sigma(s_i.l_j)$. O material de menor somatório será o material de melhor desempenho à névoa de dióxido de enxofre (SO_2), como se mostra na Tabela 23.

Tabela 23. Material de revestimento x ($\Sigma s_i.l_j$) (referente à névoa de SO_2)

Material de revestimento	Observação após exposição à névoa de dióxido de enxofre (SO_2)	($\Sigma s_i.l_j$)	Resultado ($\Sigma s_i.l_j$)
A	8a+1j	(8x1)+(1x10)	18
B	8h+1c	(8x8)+(1x4)	68
C	8g+2h	(8x3)+(2x8)	40
D	2g+4h	(2x3)+(4x8)	38
E	Sem efeito	0	0
F	8i+8a	(8x9)+(8x1)	80

(Fonte: o autor)

Ordenando-se os resultados de somatório ($\Sigma s_i.l_j$) de forma crescente, tem-se o *ranking* dos materiais referentes ao ensaio NBR 8096, resistência à névoa de dióxido de enxofre (SO_2), como na Tabela 24.

Tabela 24. *Ranking* materiais referentes ao ensaio resistência à névoa de SO_2 (NBR 8096/83)

Ranking	Material	Resultado
1°	E	0
2º	A	18
3º	D	38
4º	C	40
5º	B	68
6º	F	80

(Fonte: o autor)

10. ENSAIO DE RESISTÊNCIA QUÍMICA (ASTM D 3912/89)

Para a realização dos ensaios de resistência química dos revestimentos em contato com

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

produtos químicos foram preparadas peças em concreto nas dimensões de 250 mm x 250 mm x 25 mm, traço 0,26:1,0:1,0 (cimento:areia:brita), tendo sido curados por imersão em água durante 28 dias e, após, as peças receberam aplicações de materiais de revestimento de ETE os quais foram curados por 20 dias, sob temperatura de 25 ºC. Em seguida, vários produtos químicos imersos em algodão foram colocados em contato com os materiais revestimentos A, B, C, D, E, F e, respectivamente, recobertos por vidros de relógio para evitar a evaporação dos produtos químicos, conforme ilustrados na Figura 9.



Figura 9. Material A sob ataque por substâncias diversas no ensaio ASTM D 3912/89 (Fonte: o autor).

Observações foram feitas após 1 hora, 24 horas, 7 dias e 30 dias sob exposição aos produtos químicos. Em seguida, foram registradas as anomalias ocorridas pelo ataque de cada produto químico nas superfícies dos revestimentos.

Ordenando-se de forma crescente os efeitos das ações das substâncias químicas sobre os materiais e associando-se graus (s_i) de 1 a 7, tem-se os resultados descritos na Tabela 25.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 25. Efeitos da ação da substância química x graus (s_i).

Letras	Efeitos	Grau (s_i)
a	Amarelamento	1
g	Esbranquiçamento	1
k	Manchas	1
h	Escurecimento	1
m	descoloração	1
l	Perda de brilho	2
i	Ganho de brilho	2
e	Empolamento	3
f	Enrugamento	4
j	Inchamento	5
c	Craqueamento ou trincamento ou fissuração	6
b	Amolecimento	6
d	Destacamento ou desplacamento	7

(Fonte: o autor)

Associam-se valores (0, 1, 2, 4, 8) às intensidades dos efeitos das ações das substâncias químicas, como na Tabela 26.

Tabela 26. Intensidades dos efeitos da substância química x valor (l_j)

Intensidade	Valor (l_j)
Sem efeito	0
Muito baixa	1
Baixa	2
Moderada	4
Severa	8

(Fonte: o autor)

No resultado do ensaio de resistência química (ASTM D 3912/89) foram tomados como (s_i) os graus dos efeitos da ação da substância química e (l_j) os valores para a intensidade dos efeitos, fazendo-se o somatório $\Sigma(s_i.l_j)$. O material de menor somatório será o material de melhor desempenho à resistência química, conforme se apresenta na da Tabela 27.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 27. Materiais de revestimento A x $\Sigma s_i.l_j$ (referentes às substâncias químicas)

Substância química aplicada sobre o material A	Observação após exposição à ação de substâncias químicas				($\Sigma s_i.l_j$) 30 dias	Resultado ($\Sigma s_i.l_j$) 30 dias
	1 hora	24 horas	7 dias	30 dias		
Ácido acético 3%	0	0	2l	2l+2a+2b	(2x2)+(2x1)+(2x6)	18
Óleo lubrificante	0	0	0	0	0	0
Toluol	0	2g+4l	4l+2a	4a+4l	(4x1)+(4x2)	12
				SOMA ($\Sigma s_i.l_j$) material A		126

(Fonte: o autor)

Ordenando-se os resultados de somatório (Σsi.lj) de forma crescente tem-se o *ranking* dos materiais referentes ao ensaio NBR 3912/89, de resistência química, como mostrados na Tabela 28.

Tabela 28. *Ranking* dos materiais referente ao ensaio NBR 3912/89

Ranking	Material	Resultado
1°	A	126
2º	E	250
3º	B	260
4º	F	284
5º	D	326
6º	C	736

(Fonte: o autor).

11. AVALIAÇÃO COMPARATIVA DOS MATERIAIS ENSAIADOS

Foram feitas associações de índices às posições dos materiais no ranking por ensaio, bem como uma associação de índices com posições no *ranking* ao ensaio de resistência à abrasão *Taber* e atribuição de pesos, conforme mostrados nas Tabelas 29 e 30.

Tabela 29. Associação de índices às posições no *ranking* ao ensaio de resistência à abrasão *Taber.*

Posição no *ranking* no ensaio	Materiais	Perda de massa (mg)	Índice no ensaio
1º	C	36,5	6
2º	D	109,8	5
3º	F	120,2	4
4º	A	124,8	3
5º	E	138,5	2
6º	B	207,23	1

(Fonte: o autor)

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 30. Atribuição de "Pesos" aos ensaios: para garantir a equalização levando-se em conta a aplicabilidade assim como as condições e ocorrências observadas

Norma	Ensaio	"Peso"	Justificativa
NBR 10787/94	Estanqueidade - Positiva	2,00	Ensaio aplicável a todos os materiais do estudo tendo ocorrido sem quaisquer interferências ou variações ou prejuízos ou condições adversas.
NBR 10787/94	Estanqueidade - Negativa	1,30	Ensaio não aplicável aos materiais C, D. Ademais, no caso das ETE, este ensaio possui menor relevância em comparação à estanqueidade positiva.

(Fonte: o autor)

Tabela 31. Material relacionado ao somatório dos produtos

Material	Norma	Ensaio	Posição no ensaio	Índice no ensaio	Peso do ensaio	Índice x Peso
A	NBR 7462/92	Tensão Ruptura -500h QUV	NA	0	0,25	0,00
	NBR 7462/92	Alongamento - 500h QUV	NA	0	0,75	0,00
	NBR10787/94	Estanqueidade - Positiva	1º	6	2,00	12,00
	NBR10787/94	Estanqueidade - Negativa	2º	6	1,30	7,80
	ASTM4060/01	Resist. Abrasão 1000 ciclos	4º	3	2,00	6,00
	NBR14050/98	Resist. de aderência	2º	5	1,00	5,00
	ASTMG154/06	Envelh. Aceler. - 500h QUV	5º	2	2,00	4,00
	ASTMD3912/89	Resistência química	1º	6	2,00	12,00
	ASTM B117/04	Resistência à névoa salina	1º	6	1,25	7,50
	NBR 8096/83	Resistência à névoa de SO_2	2º	5	1,25	6,25
					Total:	**60,55**

(Fonte: o autor)

Na Tabela 31 cada material foi relacionado ao somatório dos produtos com o índice do material específico em cada ensaio acompanhado também do peso do ensaio. Observou-se que quanto maior este somatório for mais adequado é o material como revestimento de estação de tratamento de esgoto. A Tabela 31 reportou esses resultados apenas para o material A.

A Tabela 32 mostra o *ranking* final de todos os materiais ensaiados considerando o somatório do índice com o peso de cada ensaio, mostrando com clareza quais os materiais com maior índice de empregabilidade e utilização como revestimentos de estações de tratamento de esgotos.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 32. *Ranking* final dos materiais

***Ranking* final dos materiais segundo os ensaios realizados**			
Colocação	**Material**	**Descrição**	**Somatório índice x peso**
1º	A	Epóxi isento de solvente	60,55
2º	E	Epóxi-poliuretano	57,55
3º	B	Epóxi com alcatrão de hulha	43,00
4º	C	Poliuretano com carga de asfalto I	42,50
5º	D	Poliuretano com carga de asfalto II	38,75
6º	F	Argamassa cimento-polímero	33,75

(Fonte: o autor)

12. CONSIDERAÇÕES

Considerando-se a normalização disponível para experimentação de materiais de revestimento, assim como a metodologia desenvolvida neste artigo para avaliação comparativa entre os materiais ensaiados, observou-se que o material de melhor comportamento para utilização como revestimento das ETE foi material A (epóxi isento de solvente). O segundo material de melhor comportamento foi o material E (epóxi-poliuretano), o terceiro foi o material B (epóxi com alcatrão de hulha), o quarto foi o material C (poliuretano com carga de asfalto I), o quinto foi o material D (poliuretano com carga de asfalto II) e o sexto, que é o de pior comportamento para utilização como revestimento foi o material F (argamassa cimento-polímero).

Os resultados deste trabalho de pesquisa servirão de parâmetros importantes para a escolha de revestimentos de outras estruturas de concreto, como estações de tratamento de água (ETA), pontes, viadutos, obras portuárias, sujeitas às patologias e ambientes agressivos.

Finalizando, a pesquisa apresentada contribui de forma abrangente e original como metodologia a ser utilizada nas tomadas de decisão em escolhas de revestimentos protetores do concreto para aplicações nas estações de tratamento do esgoto. Isto permite que tais estruturas se tornem mais otimizadas no aspecto estrutural como também no aspecto econômico.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM B 117. **Standard practice for operating salt spray (fog) apparatus**. USA: ASTM, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D 3912. **Standard test method for chemical resistence of coatings used in light-water nuclear power plants**. USA: ASTM, 1989.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D 4060. **Standard test method for abrasion resistence of organic coatings by the Taber abraser**. USA: ASTM, 2001.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM G 154. **Standard practice for operating fluorescent light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials**. USA: ASTM, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14050** – **Sistemas de revestimentos de alto desempenho, à base de resinas epoxídicas e agregados minerais – Projeto, execução e avaliação do desempenho** – Procedimento – Anexo C – Determinação da resistência de aderência. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7462 - Elastômero vulcanizado – Determinação da resistência à tração.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8096 - Material metálico revestido e não-revestido – Corrosão por exposição ao dióxido de enxofre**. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS– ABNT. **NBR 10787 - Concreto endurecido. Determinação da penetração de água sob pressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

JORDY, J. C. **Avaliação do desempenho dos revestimentos protetores para estruturas de estações de tratamento de esgoto**. 2009. 370f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói. RJ, 2009.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.