
Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Estudo de atmosferas agressivas em usinas termelétricas a carvão com FGD semi-seco: desenvolvimento de metodologia de diagnóstico e proteção.

Adriana de O. S. Leite^a, Sílvia B. F. de Souza^b, Priscilla F. de O. Ferreira^c, Darley da S. Lima^d, Úrsula C. Pereira^e e Walney S. Araújo^f

Abstract

Degradation from corrosive processes in steel structures is a recurring problem in the marine and industrial atmospheres. This type of degradation is influenced, among other factors, by the presence of contaminants in the atmosphere, namely: SO₂, Cl⁻ and particles. In order to measure the pollutant rate, 6 atmospheric stations were installed in the Thermoelectric Plant (Pecém-CE), containing samples for the loss of mass of metals, particulate collectors and damp candles, collected monthly for relevant analysis, according to the following standards: ASTM G140 -02, NBR 14643, NBR 6921 and ASTM G1. Preliminary results indicated the classification of the atmosphere as B2 with a mean concentration of 337 mg/m².dia and 151 mg/m².day for chlorides at stations 1 and 6, in terms of particulates the average rate found for stations 1, 4 and 6 were low at around 1.85 g/cm². All the stations were classified as A₁ (concentrations of SO₂ between 12 and 40 g/m³). These data support the mass loss analysis of the materials studied, where it was observed that for carbon steel the environment is framed in C₅ (above 145 μm/year), for C5 copper (over 20 μm/year), stainless steel and aluminum in C₁ (above 0.32 g / m²/year) and C₄ galvanized steel (above 10 μm/year).

Keywords: Atmospheric corrosion; Metallic Materials. Termelétric

Resumo

A degradação decorrente dos processos corrosivos em estruturas de aço é um problema recorrente nas atmosferas marinha e industrial. Esse tipo de degradação é influenciado, dentre outros fatores, pela presença de contaminantes na atmosfera, a saber: SO₂, Cl⁻ e partículas sedimentáveis. Objetivando mensurar a taxa de contaminantes, foram instaladas 6 estações atmosféricas na Usina Termelétrica (Pecém - CE), contendo amostras para ensaio de perda de massa de metais, coletores de particulado e velas úmidas, recolhidas mensalmente para análises pertinentes, conforme normas: ASTM G140-02, NBR 14643, NBR 6921 e ASTM G1. Os resultados preliminares indicaram a classificação da atmosfera como B2 com concentração média de 337 mg/m².dia e 151 mg/m².dia para cloretos nas estações 1 e 6, em termos de particulados a taxa média encontrada para estações 1, 4 e 6 foram baixas ficando

^a Doutora, Química Industrial - UNIFOR

^b graduanda, Engenharia Civil - UFC

^c graduanda, Engenharia Química- UFC

^d pós graduando, Engenheiro Metalurgista - UFC

^e pós graduanda, Engenheira Metalurgista - UFC

^h Doutor, Engenheiro Químico - UFC

em torno de 1,85 g/cm². Todas as estações foram classificadas como A₁ (concentrações de SO₂ entre 12 a 40 g/m³). Esses dados auxiliam a análise de perda de massa dos materiais estudados, onde foi constatado que para o aço carbono o ambiente está enquadrado em C₅ (acima de 145 µm/Ano), para o cobre em C₅ (acima de 20 µm/Ano), aço inox e alumínio em C₁ (acima de 0,32 g/m² /ano) e aço galvanizado em C₄ (acima de 10 µm/Ano).

Palavras-chave: Corrosão atmosférica; materiais metálicos. Termoelétrica.

Introdução

A vida útil de equipamentos e estruturas metálicas da usina Termelétrica do Complexo do Pecém (Ce) é tema de elevada preocupação para a empresa; movida a carvão mineral de elevado teor de enxofre em sua composição, os mesmos sofrem desgaste corrosivo devido à presença de enxofre e condensação dos gases da combustão, aliado a presença de cloreto proveniente da atmosfera marítima devido à localização da empresa. Estas condições resultam na redução da eficiência global dos equipamentos, elevados custos de manutenção e possíveis acidentes (1).

A geração termoelétrica em destaque consiste na conversão da energia química presente no carvão, em energia térmica, por meio de um processo de combustão, com emissões atmosféricas que dependem dentre outros fatores do ciclo termodinâmico, que atuam na eficiência da combustão e do uso de sistemas de controle de poluentes (2).

O processo em questão pode lançar diversos contaminantes na atmosfera, tais como CO₂, material particulado resultante de processos de combustão incompleta ou cinzas, óxidos de nitrogênio (NO_x) formados quando o combustível é queimado na presença de ar e óxidos de enxofre; todos podem formar ácidos quando hidrolisados ou compostos orgânicos voláteis fotoquímicos (VOCs) na presença de luz solar. Adicionado às questões de processo tem a localização litorânea da planta, que dista cerca de 7 km do litoral, provedor de Cl⁻(3).

Assim, a corrosividade da atmosfera do empreendimento em questão é importante de ser caracterizada, tornando-se uma informação de gestão. Esta pode ser classificada em função da taxa de corrosão de metais e ligas de referência, tais como Al, Cu, Zn e aço carbono. Ressalta-se que a classificação obtida com esses materiais metálicos não pode ser estendida para outros, pois, as atmosferas agredem de modo diferente para cada material (NBR14643:2001) (4).

Adicionada aos fatores mencionados inerentes a Termelétrica, o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) em São Gonçalo do Amarante (Ce) ainda deverá compreender 5 termoelétricas, 1 refinaria, 1 siderúrgica e 1 fábrica de cimento alterando significativamente a corrosividade do local, logo estudos relacionados a corrosão metálica e teor de contaminantes atmosféricos, podem antecipar os problemas relacionados ao tema.

Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida na planta industrial da usina Termoelétrica situada no município de São Gonçalo do Amarante, localizado no litoral oeste do Ceará, a 70 km da capital

Fortaleza. O processo de coleta de dados ocorreu durante os meses de março a dezembro de 2017 e tiveram medições mensais.

1 Contaminantes atmosféricos

a) Sulfatos - As velas de dióxido de chumbo para a determinação de SO₂ segundo NBR 6921:2001, a amostra é obtida através da oxidação ou fixação de compostos de enxofre, tais como SO₂, SO₃, H₂S e sulfatos, por uma superfície reativa de dióxido de chumbo num determinado período de tempo. O sulfato insolúvel resultante é solubilizado com carbonato de sódio, sendo reprecipitado a quente, em meio ácido, com solução de cloreto de bário. A massa de sulfato de bário assim obtida é utilizada no cálculo da taxa de sulfatação (5).

b) Cloretos - A determinação de íons cloreto no ar atmosférico foi realizada seguindo as recomendações da NBR 6211:2001 - Corrosão atmosférica – Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida. O íon cloreto resultante da absorção em água contendo glicerol é titulado solução-padrão de AgNO₃ na presença do indicador cromato de potássio 5%. O ponto final da titulação é a formação do precipitado de cor vermelho tijolo (6).

c) Particulados - A taxa de deposição de partículas totais em suspensão (PTS) no ar ambiente, em um período de 30 dias de amostragem, foi determinada utilizando um amostrador de grande volume (AGV). A massa de matéria solúvel corresponde à massa final obtida na pesagem. NBR 9547:1997 (7).

d) Clima - As características climatológicas do ambiente estudado foram obtidas através de dados semanais disponíveis na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) e no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os parâmetros acompanhados durante os meses da pesquisa foram: velocidade do vento, umidade, precipitação e temperatura. O valor numérico denominado índice de deterioração de Brooks (ID), é um importante índice sobre o potencial corrosivo a partir de dados meteorológicos, e é calculado a partir da pressão de saturação do vapor de água à temperatura e umidade relativa médias da região, conforme Equação 1 (8-9).

$$ID = \frac{(UR - 65) \cdot P}{100}$$

Onde:

(Id) é o índice de deterioração média anual de Brooks;

(UR) é a umidade relativa média anual (em porcentagem); e

(P) é a pressão de saturação do vapor de água na atmosfera (em mbar), correspondente à temperatura média anual; este valor pode ser obtido experimentalmente ou por meio de tabelas padrão.

De acordo com o valor de (ID) podem ser estabelecidos os seguintes graus de deterioração que tem correlação direta com a agressividade do ambiente, conforme ilustrado na Tabela 1

Tabela 1 - Graus de deterioração de Brooks

Id	Grau de deterioração	ID	Agressividade
Id < 1	Muito baixo	0-1	Não agressivo
1 < Id < 2	Baixo	1-2	Muito pouco agressivo
2 < Id < 5	Moderado	2-4	Pouco agressivo
Id > 5	Alto	4-5	Agressivo
		5-10	Muito agressivo

Fonte: Morcillo,1998

2 Perda de massa

A metodologia adotada consiste em expor corpos-de-prova padrões em estações de corrosão atmosférica, acompanhando a variação da perda de massa mensalmente, dos mesmos ao longo do projeto. A preparação dos corpos de prova (CP) para exposição nas estações seguiu as especificações técnicas quanto às dimensões, materiais e quantidades. Os CPs foram devidamente cortados, desengraxados com solvente (acetona), submetidos à limpeza química, pesados e tiveram sua área determinada conforme a norma NBR 6210 (10). Para a avaliação do comportamento do processo corrosivo, a perda de massa, medida em grama (g), foi convertida em perda de espessura e em taxa de corrosão, como recomenda a norma ASTM G 92-86 (11).

Devido à perda de massa dos corpos-de-prova metálicos serem influenciada pela área exposta e pelo tempo de exposição, essas variáveis são combinadas e expressas numa fórmula que determina a taxa de corrosão conforme equação 01.

$$\text{taxa de corrosão} = \frac{K \cdot M}{s \cdot t \cdot \rho}$$

Onde:

(K) é uma constante que determina a unidade da taxa de corrosão (conforme Tabela 2);

(M) é a perda de massa em g, com aproximação de 1 mg;

(S) é a área do corpo de prova em cm², com aproximação de 0,01 cm²;

(t) é o tempo de exposição em horas e

(ρ) é a massa específica em g/cm³.

Tabela 2 - Valores para a constante k.

Unidade	Valor de K
Milímetros por ano (mm/ano)	8,76 x10 ⁴
Micrômetros por ano (μm/ano)	8,76 x10 ⁷
Gramas por metro quadrado por hora (g/m ² /h)	1,00 x10 ⁴ .ρ
Miligramas por decímetro quadrado por dia (mdd)	2,40 x10 ⁶ .ρ
Miligramas por decímetro quadrado por ano (mda)	8,76 x10 ⁸ .ρ

NOTA: para o cálculo de corrosão na última unidade não é necessário entrar com o valor da massa específica, uma vez que esta variável é cancelada na fórmula.

Fonte: Adaptada NBR 6210, 2018.

Resultados e discussão

As investigações atmosféricas foram executadas em 6 estações de corrosão na usina Termelétrica, a Figura 1 apresenta os pontos as localizações das mesas de exposição dos corpos de prova, assim como os suportes e velas coletoras. Os painéis foram instalados conforme norma ABNT NBR 6209:2007 (12), havendo necessidade de algumas adaptações no site da usina, embora isto não viesse a prejudicar a confiabilidade dos resultados.



EC 1- Entre torres de resfriamento EC 2 - Escada próximo a caldeira 1 EC 3 – Próximo a Turbina 1 e 2



EC 4 Prédio ADM EC 5 - Esteira de Carvão EC 6 - Torre de resfriamento 3

Figura 1 – Estações de corrosão atmosférica na usina Termelétrica

Fonte: Próprio autor, 2018

As principais características da Estação de Corrosão Atmosférica Industrial da Usina Termelétrica avaliada são as seguintes (13):

- Presença de poluentes de origem industrial;
- Existência de pós de natureza orgânica e inorgânica;
- Presença de agentes corrosivos como a umidade, compostos de enxofre, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono;
- Formação de compostos ácidos, devido à reação dos agentes corrosivos com a água.

Classificação Climática e dados meteorológicos

A temperatura média anual na região avaliada foi de $30\text{ °C} \pm 1,2\text{ °C}$, conforme dados locais e publicados. A umidade relativa (UR) foi consideravelmente alta, variando de 60 a 80%. Estes valores, somados ao da temperatura média anual, podem ter contribuído para um aumento da probabilidade de corrosão dos metais expostos devido à formação de uma película fina de eletrólitos no substrato (14).

A região apresentou pluviosidade anual de 1262 mm/ano, e os meses de fevereiro a agosto foram as maiores precipitações com cerca de 160 mm, dados encontrados na série

pluviométrica do INMET. Este índice de precipitação das chuvas pode ter influenciado na diminuição da concentração dos contaminantes atmosféricos depositados sobre a superfície dos metais e materiais expostos (microclima), pelo processo de lixiviação ou lavagem dos mesmos.

A direção predominante do vento no período foi de noroeste (levantamentos locais), ou seja, proveniente do oceano, atingindo velocidades médias de 12 km/h que influenciam diretamente, na dispersão e no sinergismo dos poluentes atmosféricos, além de interferirem no tempo de secagem do eletrólito sobre a superfície do metal.

A condição apresentada de UR, superior a 60%, aliada às temperaturas médias anuais próximas de 30 °C favorecem aos processos de deterioração dos materiais na atmosfera, principalmente, no caso dos metais. A classificação baseada no Índice de Brooks (ID = 2,2) aponta para uma corrosividade moderada em praticamente toda a extensão da usina Termelétrica, porém, é preciso levar em conta que são os agentes poluentes que imprimem aumento na velocidade de corrosão, e não são tratados nesse Índice (15).

Teor de contaminantes atmosféricos no site avaliado

As atribuições da corrosão de materiais podem estar associadas à concentração de íons presentes na atmosfera, principalmente, quando expostos zona costeira bem como nas regiões industriais e, até mesmo, em ambos os locais, caso típico da usina termelétrica do Pecém.

a) Influência dos sulfatos

O dióxido de enxofre presente na atmosfera é a maior causa de corrosão de metais expostos ao ar, no caso estudado. Experiências demonstram claramente uma relação linear entre a quantidade de metal corroído num dado período de tempo e a concentração de SO₂ em plantas de usinas termelétricas a carvão. Mesmo metais não-ferrosos a exemplo de cabos elétricos de cobre onde SO₂ provoca o aparecimento de uma camada superficial de sulfato de cobre, que é extremamente resistente à penetração de poluentes no seu interior, no entanto, é prejudicial a resistividade.

A taxa de deposição de SO₂ está apresentada na Figura 1, onde foi possível verificar que o comportamento foi variável ao longo do período ensaiado, destacando a EC 1 com uma das maiores taxas em torno de 27 mg SO₂/m².dia. A EC 6 apresentou durante 3 meses taxas superiores a 40 mg SO₂/m².dia; atribuído a elevação da produção da usina e a baixa eficiência do ciclo de combustão. Segundo NBR 6921:2002 todas as estações foram classificadas como A₁ (concentrações médias de SO₂ entre (12 a 40) g/m³).

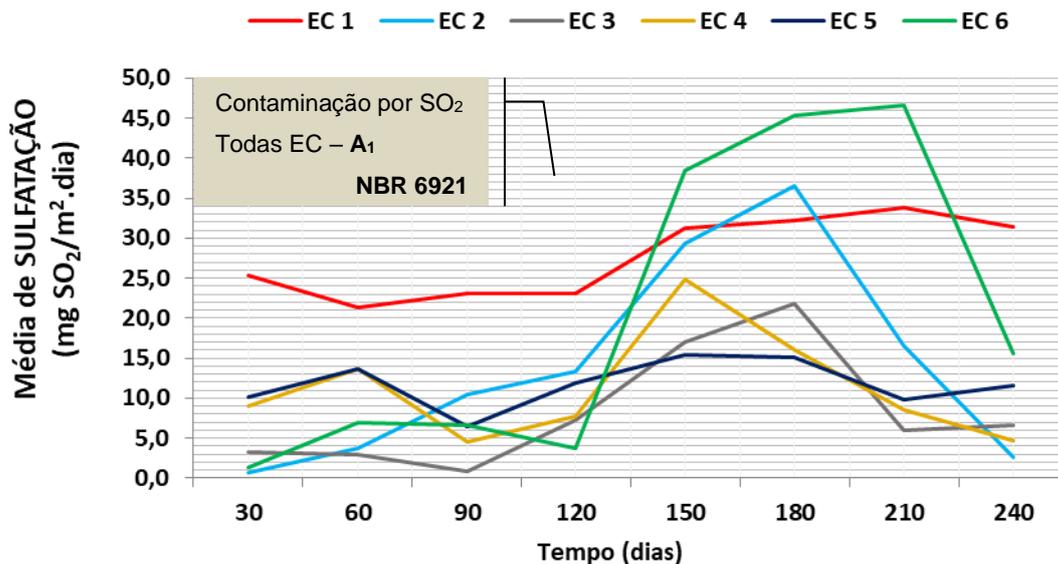


Figura 1 – Taxa de contaminação de SO₂ nas estações de corrosão do site avaliado
Fonte: Próprio autor, 2018

Na atmosfera o SO₂ volta a se oxidar dando origem a sulfatos e ao ácido sulfúrico, este sob forma de gotículas e esta condição tem agravado a condição de equipamentos e estruturas.

O processo em questão pode lançar diversos contaminantes na atmosfera, resultante de processos de combustão incompleta ou cinzas, como os óxidos de enxofre que formam ácidos quando hidrolisados na atmosfera úmida e de períodos chuvosos, como os apresentados em São Gonçalo do Amarante (Ce).

b) Influência dos cloretos

Na Figura 2 estão demonstrados os teores de cloretos para cada EC no período analisado, onde foi possível constatar que a EC 6 e a EC1 obtiveram os maiores índices de cloretos, sendo uma média de 337 mg/m².dia e 151 mg/m².dia, respectivamente. As demais apresentaram uma média de 57 mg/m².dia. Os teores de cloreto foram mais expressivos do que os teores de sulfato, em virtude da proximidade da planta industrial a zona costeira e a velocidade dos ventos observados.

A atmosfera de São Gonçalo do Amarante (Pecém) com valores de UR acima de 70% contém aerossóis marinhos ou partículas salinas que podem ser arrastadas por muitos quilômetros de distância da orla para o continente, sendo veiculadas pela direção e velocidade dos ventos predominantes. A salinidade em atmosferas marinhas acelera a corrosão metálica e varia dentro de amplos limites geográficos. Esses íons tendem a destruir toda a camada passivante formada na superfície do material, por aumentarem consideravelmente a condutividade da camada do eletrólito no metal.

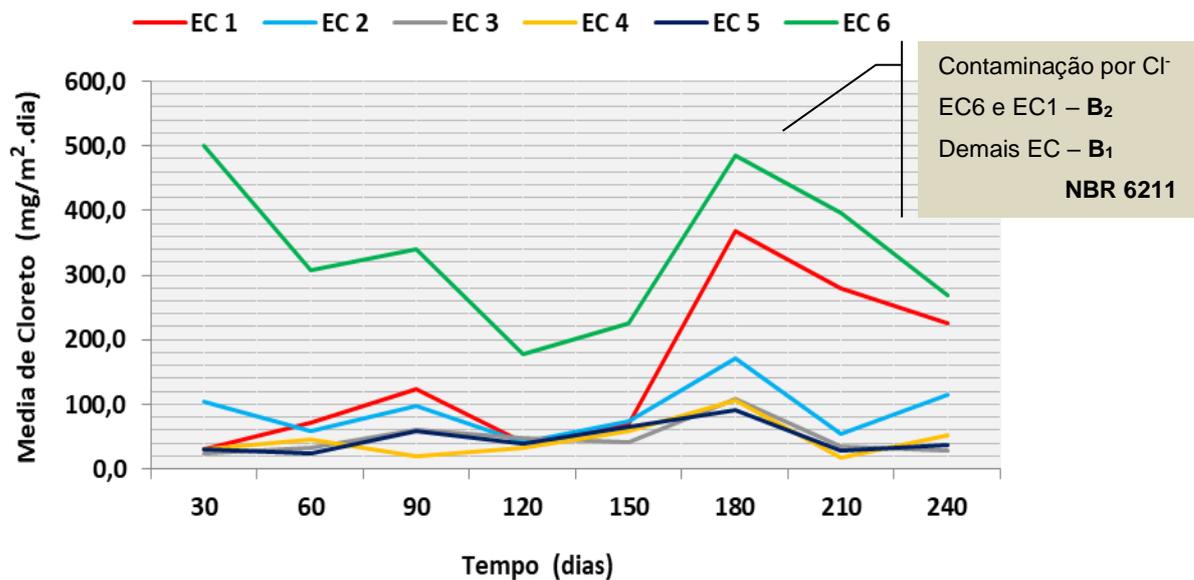


Figura 2 – Taxa de contaminação por cloreto nas estações de corrosão do site avaliado

Fonte: Próprio autor, 2018

c) Índice de partículas sedimentáveis

A ação do vento nas pilhas de carvão e depósitos de cinzas podem gerar emissões de poeiras, que influenciam nos processos de corrosão por abrasão ou erosão, partículas sólidas, sob a forma de poeira ou fuligem, são responsáveis por tornar a atmosfera mais corrosiva assim como a deposição de particulados metálicos que podem agravar o processo corrosivo se sua natureza química for diferente do metal-base ou substrato, devido a corrosão galvânica (16).

Analisando os resultados apresentados na Figura 3, foi possível determinar que as EC 5, EC 2 e EC 3 apresentaram as maiores taxas de partículas influenciadas, fortemente, pela localização de proximidade de esteiras de carvão, principalmente, durante o período de chuvas. As determinações foram prejudicadas em determinados meses, pois os reservatórios de grande volume chegam com grandes quantidades de carvão. Entretanto, as estações EC1, EC4 e EC6 denotam áreas de baixa concentração de particulados, ficando em torno de $1,85 \text{ g/cm}^2$.

A presença de partículas sólidas, como é o caso do carvão e da areia, promove o processo corrosivo de forma indireta. A deposição destes materiais não-metálico sobre a superfície não atacou diretamente o material metálico, porém criou condições para o mecanismo de corrosão por aeração diferencial. Neste processo, o material é atacado localmente sob o particulado (com presença reduzida de oxigênio). A presença de particulados, também ocasionou a retenção de umidade, acelerando o processo corrosivo.

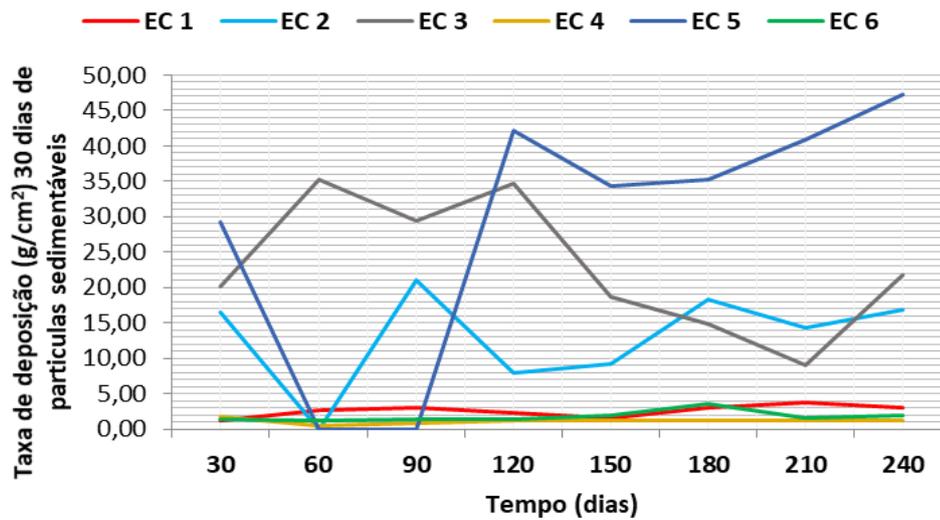


Figura 3 – Taxa de determinação de particulados sedimentáveis nas estações de corrosão
Fonte: Próprio autor, 2018

2. Perda de massa

Os corpos-de-prova de aço foram os que sofreram maior deterioração por processos corrosivos, resultando em superfícies com acúmulo de carepas avermelhadas, para o aço galvanizado foi observado corrosão vermelha, nos corpos de prova do cobre foi observado o aspecto esverdeado e amarronzado, já para o alumínio e aço inox houve perda de brilho e ocorrência de pites sobre as superfícies. Os aspectos após a exposição dos corpos de prova metálicos podem ser vistos na Figura 4.

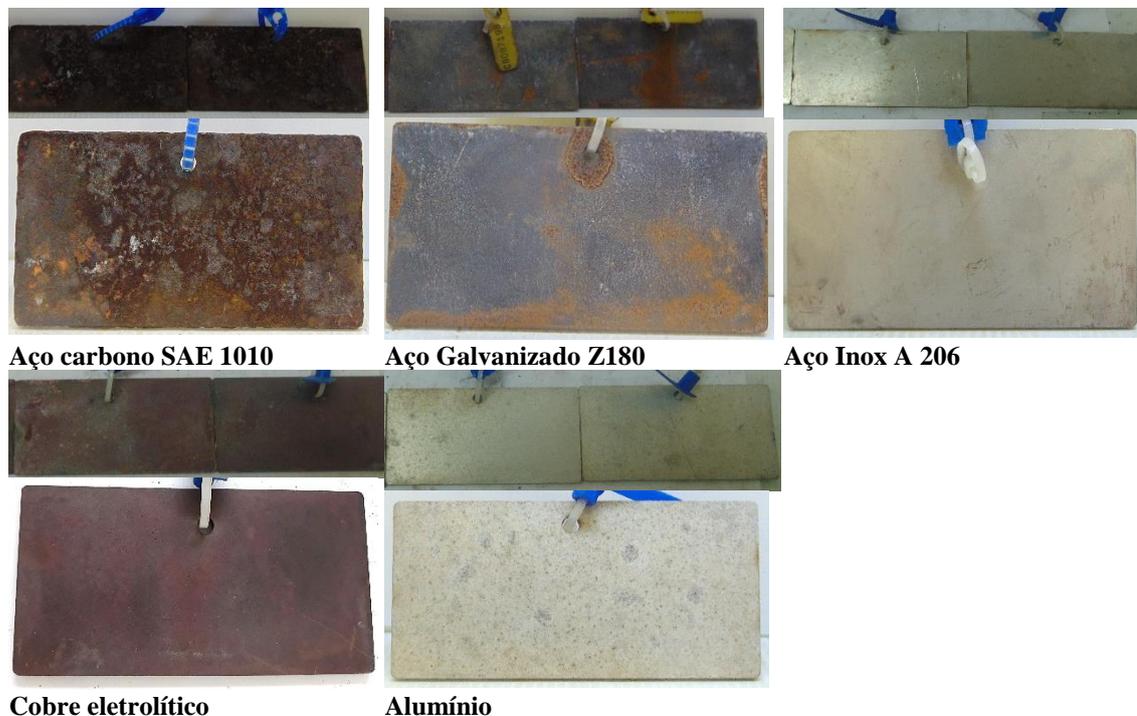


Figura 4 – Aspecto superficial dos corpos de prova após exposição atmosférica

Fonte: Próprio autor, 2018

As Tabelas 3 a7 apresentam os graus de corrosividade dos contaminantes atmosféricos, as taxas de corrosão e as perdas de espessura média para os referidos materiais metálicos ensaiados: aço carbono, aço galvanizado, cobre, alumínio e aço inox, respectivamente para as estações estudadas.

A taxa de corrosão do aço carbono foi superior a todos os demais materiais metálicos, em todas as 6 estações avaliadas, atingindo o valor médio de perda de 144 $\mu\text{m}/\text{ano}$, esta taxa de corrosão classifica a corrosividade para o aço carbono em C5 (80 a 200) $\mu\text{m}/\text{ano}$. Estas ocorrências podem estar associadas às taxas de Cl^- e SO_2 que acarretam a formação de óxidos não suficientemente, compactos e aderentes para reduzir o avanço da corrosão no referido material (17).

Tabela 3 – Critérios de corrosividade para o aço carbono nas estações da termelétrica.

Estação	Tempo de exposição		Cloreto	Sulfatação	Taxa média de corrosão - $\mu\text{m}/\text{ano}$	Categoria
	dias	meses				
EC 1	240	8	B ₂	A ₁	183,69	C ₅
EC 2	240	8	B ₂	A ₁	116,68	C ₅
EC 3	240	8	B ₂	A ₀	95,47	C ₅
EC 4	240	8	B ₂	A ₀	111,23	C ₅
EC 5	240	8	B ₂	A ₀	138,67	C ₅
EC 6	240	8	B ₃	A ₁	218,71	C _x

Fonte: Próprio autor, 2018

A taxa de corrosão do aço carbono galvanizado foi classificada com C5 e Cx, o que representou uma durabilidade do material por apenas 5 meses, a perda da camada de zinco ficou em média em 10 $\mu\text{m}/\text{ano}$, muito alta para o material ensaiado, cuja a camada aplicada foi cerca de 180 micrômetros. Os dados para o zincado nas estações avaliadas estão dispostos na Tabela 4. Os galvanizados quando expostos a atmosferas contaminantes formam, pela ação corrosiva, óxido de zinco, ZnO , e/ou hidróxido de zinco, $\text{Zn}(\text{OH})_2$, que possuem características protetoras, entretanto em ambientes úmidos ocorre um aumento acentuado da taxa de corrosão devido à condensação de umidade saturada em ácido carbônico ou sulfúrico, atacando o metal (18).

Tabela 4 – Critérios de corrosividade para o aço galvanizado nas estações da termelétrica.

Estação	Tempo de exposição		Cloreto	Sulfatação	Taxa média de corrosão - $\mu\text{m}/\text{ano}$	Categoria
	dias	meses				
EC 1	150	5	B2	A1	10,58	Cx
EC 2	150	5	B2	A1	13,52	Cx
EC 3	150	5	B2	A0	11,04	Cx
EC 4	150	5	B2	A0	3,64	Cx
EC 5	150	5	B2	A0	9,96	C5
EC 6	150	5	B3	A1	12,34	Cx

Fonte: Próprio autor, 2018

Houve a dissolução da camada de zinco nessas atmosferas elevando a taxa de corrosão do material, comparativamente a do ferro, portanto logo a baixa massa de zinco no aço galvanizado (Z180) foi insuficiente para proteger o aço em ambientes marinho e industriais (18).

Para o cobre, as taxas de corrosão foram muito altas, extrapolando os limites estabelecidos pela norma. O cobre é um dos materiais que merecem especial atenção porque, além de sua elevada condutividade térmica e elétrica, apresenta alta resistência à corrosão nas mais variadas condições ambientais. Na atmosfera exposta associada à umidade relativa do ar, este material reage com oxigênio formando camadas finas amarronzadas de óxido de cobre, Cu_2O (cuprita), fato evidenciado nas exposições em questão. O espessamento destas camadas, junto com o acúmulo de sujeira no decorrer do tempo, escurece as superfícies formando o que se conhece como pátinas pretas. O grau de corrosividade do cobre está demonstrado na Tabela 5, observando que a taxa média de corrosão ficou em torno de 13 $\mu\text{m}/\text{ano}$ classificando a corrosividade em C_x .

Tabela 5 – Critérios de corrosividade para o cobre nas estações da termelétrica.

Estação	Tempo de exposição		Cloreto	Sulfatação	Taxa média de corrosão - $\mu\text{m}/\text{ano}$	Categoria
	dias	meses				
EC 1	240	8	B ₂	A ₁	19,86	C _x
EC 2	240	8	B ₂	A ₁	10,31	C _x
EC 3	240	8	B ₂	A ₀	8,82	C _x
EC 4	240	8	B ₂	A ₀	7,73	C _x
EC 5	240	8	B ₂	A ₀	8,06	C _x
EC 6	240	8	B ₃	A ₁	24,26	C _x

Fonte: Próprio autor, 2018

As amostras de alumínio e aço inox não apresentaram mudanças significativas de massa no período exposto, podendo ser avaliadas como corrosividade baixas. O alumínio, caracteristicamente, apresenta uma fina película de óxido de alumínio, Al_2O_3 , formada quando exposto ao ar, que é responsável pela sua resistência à corrosão atmosférica (19). O processo corrosivo sobre este material, por esta razão, ocorre de forma localizada, com formação de pites, não se manifestando sobre toda a superfície. Todas as amostras continham particulados (poeira) e manchas associadas à umidade. Ainda que indiretamente, o depósito de particulado se converte em um fator decisivo na corrosão por favorecer a retenção de umidade e criar condições de aeração diferencial que desestabilizam e causam ruptura localizada na película protetora. A taxa de corrosão média ficou em torno de 0,21 $\text{g}/\text{m}^2.\text{ano}$, a categoria da corrosividade ficou em C_2 , conforme Tabela 6.

Os corpos-de-prova em aço inox 306 expostos às intempéries no ambiente fabril da pesquisa apresentaram estabilidade, com apenas alguns pontos de corrosão por pites, sua taxa de corrosão média ficou em torno de 0,32 $\text{g}/\text{m}^2.\text{ano}$, a categoria da corrosividade ficou em C_1 , conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Critérios de corrosividade para o alumínio e aço inox nas estações da termelétrica.

Estação	Tempo de exposição		Cloreto	Sulfatação	Taxa média de corrosão Al - g/(m ² .ano)	Categoria	Taxa média de corrosão - Inox g/(m ² .ano)	Categoria
	dias	meses						
EC 1	240	8	B ₂	A ₁	0,2807	C ₂	0,3432	C ₁
EC 2	240	8	B ₂	A ₁	0,1850	C ₂	0,4215	C ₁
EC 3	240	8	B ₂	A ₀	0,1861	C ₂	0,3339	C ₁
EC 4	240	8	B ₂	A ₀	0,1192	C ₂	0,2201	C ₁
EC 5	240	8	B ₂	A ₀	0,1419	C ₂	0,2780	C ₁
EC 6	240	8	B ₃	A ₁	0,3710	C ₂	0,3584	C ₁

Fonte: Próprio autor, 2018

Dependendo do material metálico, do meio corrosivo e dos poluentes presentes, os processos corrosivos foram mais rápidos e os produtos de corrosão apresentam características inerentes a cada tipo de atmosfera e de material metálico.

A umidade foi um fator preponderante na ação do processo corrosivo dos materiais metálicos avaliados, pois em presença de cloretos e sulfatos, o processo de corrosão é significativo em ambientes com umidade relativa elevada.

Conclusões

A ação corrosiva da atmosfera estudada dependeu fundamentalmente de fatores como: umidade relativa acima de 70%, substâncias poluentes (particulados, cloretos e sulfatos), temperatura ambiente em torno de 30°C bem como de fatores climáticos, como intensidade dos ventos e precipitações que variaram de fevereiro a agosto.

Em relação aos contaminantes atmosféricos foi constatado que a EC 6 e a EC1 obtiveram os maiores índices de cloretos (média de 337 mg/m².dia e 151 mg/m².dia), respectivamente. O comportamento quanto ao SO₂ foi variável ao longo do período ensaiado, sendo que a EC 1 teve as maiores taxas, ficando em torno de 27 mg SO₂/m².dia, classificadas como A1 como atmosferas urbanas.

As estações EC1, EC4 e EC6 denotaram áreas de baixa concentração de particulados, ficando em torno de 1,85 g/cm², enquanto as EC2, EC3 e EC6 tiveram maiores concentrações de particulados pela contribuição do carvão, oriundo do processo.

Dentre os materiais metálicos os aços carbono, seguido do aço galvanizado e do cobre foram os materiais que mais fortemente sofreram com as condições climáticas encontradas, associadas às presenças dos contaminantes atmosféricos provenientes do processo térmico de geração de energia. Assim o uso de materiais sem as devidas proteções, pode gerar custos maiores de manutenção e paradas de produção. Adicionalmente nas mesmas condições destacaram-se por suas resistências o aço inox e o alumínio.

Referências bibliográficas

- (1) VISCONDI Gabriel de Freitas; da Silva, Aline Fernandes e Cunha, Kamyla Borges. **Série Termoeletricidade em foco geração termoeletrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle.** IEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente. São Paulo, novembro de 2016. Disponível em <http://www.energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2016/11/IEMA-EMISSOES.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018
- (2) RIGOTTO, Raquel Maria. **Inserção da saúde nos estudos de impacto ambiental: o caso de uma termoeletrica a carvão mineral no Ceará.** Ciênc. saúde coletiva, Rio de Janeiro , v. 14, n. 6, p. 2049-2059, Dec. 2009. Available from<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232009000600012&lng=en&nrm=iso>. access on 13 Mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232009000600012>.
- (3) ARAÚJO, Rogério César Pereira de; FREITAS, Kelly Silva de; ALBUQUERQUE, Robério Lopes de. **Impactos socioeconômicos do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) sobre os pescadores artesanais, São Gonçalo do Amarante-CE.** Porto Alegre, 47º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 26 a 30 de jul. 2009. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/13/260.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2018.
- (4) ABNT NBR 14643: Corrosão atmosférica – classificação da corrosividade de atmosferas. Rio de Janeiro; 2001.
- (5) ABNT NBR 6921 - Corrosão atmosférica - Taxa de Sulfatação - Determinação pelo método da vela de dióxido de chumbo.
- (6) ABNT NBR 6211 Corrosão atmosférica - Determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida.
- (7) ABNT NBR 9547 (1997) - Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume.
- (8) BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 2ª ed., Pearson Prentice Hall: São Paulo, 2005. 318 p.
- (9) BAIRD, Colin. **Química Ambiental.** 2ª ed. Bookman: Porto Alegre, 2005. 622 p.
- (10) ABNT NBR 6210:1987 - Preparo, Limpeza E Avaliação Da Taxa De Corrosão De Corpos-de-prova Em Ensaios De Corrosão.
- (11) ASTM G92 - 86(2015) Standard Practice for Characterization of Atmospheric Test Sites.
- (12) Norma Técnica: Corrosão atmosférica - Materiais metálicos - Ensaio não-acelerado. ABNT NBR 6209:2007.
- (13) Costa, R. C., et al. **Avaliação da Resistência a Corrosão de Revestimentos Metálicos Depositados por Aspersão Térmica a Arco: uma Aplicação em Trocadores de Calor.** Soldag. Insp. São Paulo, Vol. 19, Nº. 04, p.292-301, Out/Dez 2014.
- (14) GENTIL, V.; **Corrosão.** 4ª ed., LTC-Livros Técnicos e Científicos S.A.: Rio de Janeiro, 2003, 341 p.
- (15) PANOSSIAN, Zehbour. **Corrosao e protecao contra corrosao em equipamentos e estrutura metálicas.** Sao Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnologicas, 1993. 355 p.
- (16) ZANINI, R. Miranda et al. **MINIMIZAÇÃO DO DESGASTE EROSIVO E CORROSIVO EM TROCADORES DE CALOR DE USINAS TERMOELÉTRICAS A CARVÃO L.C.** Departamento de Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Química, Tractebel Energia S.A3 , Laboratório de Síntese de Complexos Multifuncionais – LASICOM , Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

- (17) **MANDELLI**, Rejane Rech et al. ESTUDOS INICIAIS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE TRÊS ESTAÇÕES DE CORROSÃO ATMOSFÉRICA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL 6º COTEQ Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos 22º **CONBRASCORR** – Congresso Brasileiro de Corrosão Salvador - Bahia 19 a 21 de agosto de 2002.
- (18) **ALVARENGA**, Evandro de Azevedo. Influência do substrato metálico e da camada de zinco na resistência à corrosão de aços eletrolgalvanizados fosfatizados e pintados. Tese doutorado, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, fevereiro/2007.
- (19) **RIEDER, E.S.** et al . Investigação dos principais processos de corrosão em estações de energia elétrica do Estado do RS. Matéria (Rio J.), Rio de Janeiro , v. 14, n. 3, p. 1000-1014, 2009 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762009000300012&lng=en&nrm=iso>. Access on 13 Mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-70762009000300012>.