

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

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

Uma Metodologia Alternativa para Determinar a Agressividade Atmosférica

Mauro Zanini Sebrao¹, Alberto Pires Ordine²

Abstract

The ISO organizing committee created the technical committee 156, aiming to develop standards to identify the atmospheric corrosion. As the result of this effort, four standards were prepared: ISO 9223, ISO 9224, ISO 9225 and ISO 9226. In this publication is evaluated and classified the corrosivity of atmospheres. However, it is needed long periods for exhibition and monitoring, reaching sometimes at 3-year period to characterize the environment in relation to corrosivity of atmospheres. Thus, a methodology to define the atmospheric corrosion in real time is, nowadays, an important factor in choice of materials and anti-corrosion protective systems. The methodology to define the equivalent salt deposit density (ESDD), evaluating the degree of pollution of the high-voltage electric systems insulators, according to IEC 60815 standard may be an alternative to characterize the degree of the corrosivity of atmospheres as well. In this paper will be presented studies realized in several atmospheric corrosion stations by using the methodology of the ISO 9223 standard as well as the methodology of the IEC 60815 standard, which showed equivalent results in relation to the degree of atmospheric aggressiveness.

Resumo

O comitê organizador da ISO criou o comitê técnico 156, com o objetivo de desenvolver normas para identificar a corrosão atmosférica. Como resultado deste esforço, quatro normas foram elaboradas: ISO 9223, ISO 9224, ISO 9225 e ISO 9226. Nestas publicações, avalia-se e classifica-se a corrosividade atmosférica. Entretanto, necessita-se de períodos longos de exposição e monitoração, chegando às vezes a períodos de três anos para se caracterizar o ambiente quanto à corrosividade atmosférica. Assim, uma metodologia para determinar a corrosividade atmosférica em tempo real é hoje um fator importante na escolha de materiais e sistemas de proteção anticorrosiva. A metodologia para determinar a densidade de depósito de sal equivalente (DDSE), avaliando-se o grau de poluição dos isoladores de sistemas elétricos de alta tensão, conforme a norma IEC 60815, pode ser uma alternativa para caracterizar também o grau de corrosividade atmosférica. Neste trabalho são apresentados estudos realizados em diversas estações de corrosão atmosférica utilizando tanto a metodologia da norma ISO 9223 como a metodologia da norma IEC 60815, que mostraram resultados equivalentes quanto ao grau de agressividade atmosférica.

Palavras-chave: corrosão atmosférica, poluentes atmosféricos, condutividade elétrica, estação de corrosão atmosférica.

¹ Mestre, Engenheiro Metalúrgico – CEPEL: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

² DSc, Engenheiro Químico – CEPEL: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

1. Introdução

Um grave problema causado pelo avanço da tecnologia é a corrosão dos metais como consequência da agressividade atmosférica, resultando na deterioração de estruturas metálicas e equipamentos, uma vez que 80% destes componentes estão expostos à atmosfera. Observa-se que as perdas por corrosão estão relacionadas diretamente com o tipo de atmosfera, onde se encontram expostos os materiais. Estas atmosferas podem ser do tipo rural, urbana, marinha ou industrial, com diferentes graus de agressividade, que também estão relacionadas à presença de muitos contaminantes no ar, tais como: fumaça, pó, cinza, gases diversos e outras substâncias. E dependendo do caso, as perdas econômicas podem chegar à ordem de milhões de dólares.

Diante destes fatos, o comitê organizador da ISO (International Organization for Standardization) através do comitê técnico 156 elaborou quatro normas: ISO 9223(1), ISO 9224(2), ISO 9225(3) e ISO 9226(4). Em novembro de 1986, durante o II Congresso Iberoamericano de Corrosão e Proteção, foram expostas idéias básicas para a elaboração de um Mapa Iberoamericano de Corrosividade Atmosférica (MICAT). Este mapa(5) foi publicado em 1998 e, junto com as normas ISO, são guias úteis no estudo da corrosão atmosférica. Entretanto para se caracterizar o ambiente quanto à corrosividade atmosférica, necessita-se de períodos longos de exposição e monitoração, chegando às vezes a três anos. Com a inserção da informática em todos os segmentos da sociedade, a velocidade de acesso à informação aumentou consideravelmente e por consequência, houve um incremento no avanço tecnológico. Assim, uma metodologia para determinar a corrosividade atmosférica em tempo real é hoje um fator importante na escolha de materiais e sistemas de proteção anticorrosiva. Neste contexto, a metodologia para determinar a densidade de depósito de sal (DDS), avaliando-se o grau de poluição dos isoladores de sistemas elétricos de alta tensão, conforme a norma IEC 60815(6), pode ser uma alternativa para caracterizar também o grau de corrosividade atmosférica.

Além disso, a metodologia DDSE também pode funcionar como um tipo de monitoração da corrosividade atmosférica, isto porque é um método rápido, do tipo “on-line” e confiável. Esta metodologia permitiria avaliar a corrosividade atmosférica ao longo do tempo, uma vez que, com o avanço tecnológico, a alteração climática é inevitável e cada vez mais rápida, tema atual de discussões e ações governamentais.

2. Metodologia dos Ensaio

2.1 - Metodologia Conforme a Norma ISO 9223 (NBR 14465)

A norma ISO 9223 classifica a agressividade atmosférica a metais e ligas metálicas em categorias de corrosividade, baseada em dados atmosféricos (tempo de superfície úmida, teor de cloretos e taxa de sulfatação) e/ou em medidas de taxas de corrosão de metais padrão, conforme a Figura 1.

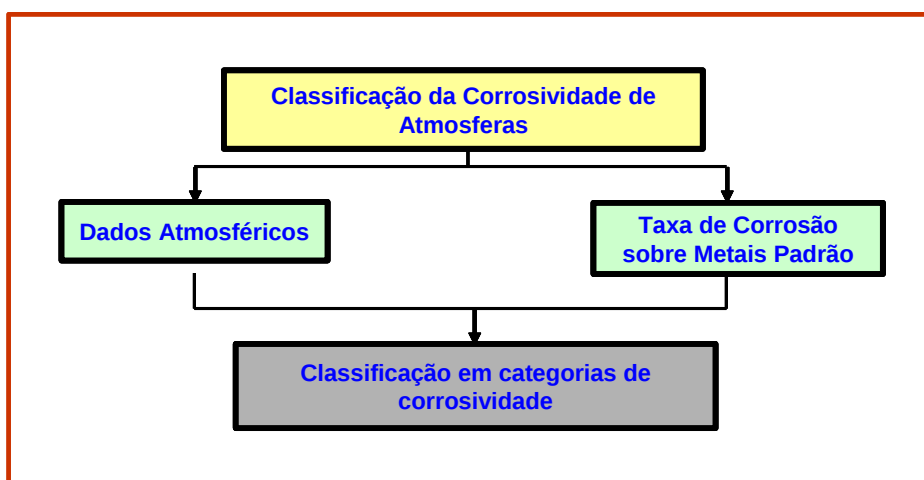


FIGURA 1 – Classificação geral da corrosividade de atmosferas.

Segundo a norma ISO 9223 a corrosividade da atmosfera é dividida em cinco categorias, conforme mostra a Tabela I.

TABELA I – Categoria de corrosividade da atmosfera

Categoria	Corrosividade
C1	Muito Baixa
C2	Baixa
C3	Média
C4	Alta
C5	Muito Alta

2.1.1 - Classificação em termos de tempo de superfície úmida

A classificação em termos de tempo de superfície úmida é dada na Tabela II.

TABELA II – Classificação em Termos de Superfície Úmida

Categoria	Tempo de superfície úmida (τ)		Exemplo de ocorrência
	horas/ano (h/a)	%	
t_1	$\tau < 10$	$\tau < 0,1$	Microclimas internos com controle climático.
t_2	$10 < \tau < 250$	$0,1 < \tau < 3$	Microclimas internos com controle climático, exceto para espaços internos sem ar condicionado em climas úmidos.
t_3	$250 < \tau < 2500$	$3 < \tau < 30$	Atmosferas externas em climas secos, frios e alguns temperados.
t_4	$2500 < \tau < 5500$	$30 < \tau < 60$	Atmosferas externas em todos os climas (exceto para os climas secos e frios).
t_5	$\tau > 5500$	$\tau > 60$	Climas úmidos, galpões não ventilados em condições úmidas.

2.1.2 Classificação em termos de contaminação

As categorias de contaminação são definidas quanto aos teores de SO_2 e Cl^- na atmosfera.

2.1.2.1 - A classificação em termos de contaminação por SO_2 para atmosferas externas é dada na Tabela III.

TABELA III – Classificação em Termos de Contaminação por SO_2

Taxa de deposição de SO_2 - A (mg /m².d)	Categoria
$A \leq 10$	A0
$10 < A \leq 35$	A1
$35 < A \leq 80$	A2
$80 < A \leq 200$	A3

2.1.2.2 - A classificação em termos Cl^- para atmosferas externas, que são contaminadas por salinidade em ambiente marinho é dada na Tabela IV.

TABELA IV – Classificação de Contaminação por Cl^-

Taxa de deposição de Cl^- - B (mg / m ² .d)	Categoria
$B \leq 3$	B0
$3 < B \leq 60$	B1
$60 < B \leq 300$	B2
$300 < B \leq 1500$	B3

2.1.3 – Classificação em categorias de corrosividade baseada em dados atmosféricos.

As categorias de tempo de superfície úmida e de contaminação (SO_2 e Cl^-) são usadas para a classificação de atmosferas em categorias de corrosividade para cada tipo de metal, as quais são mostradas na Tabela V.

TABELA V – Categorias de Corrosividade Estimada da Atmosfera

Aço-Carbono															
	t_1			t_2			t_3			t_4			t_5		
	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3
A_0-A_1	1	1	1 ou 2	1	2	3 ou 4	2 ou 3	3 ou 4	4	3	4	5	3 ou 4	5	5
A_2	1	1	1 ou 2	1 ou 2	2 ou 3	3 ou 4	3 ou 4	3 ou 4	4 ou 5	4	4	5	4 ou 5	5	5
A_3	1 ou 2	1 ou 2	2	2	3	4	4	4 ou 5	5	5	5	5	5	5	5
Zinco e Cobre															
	t_1			t_2			t_3			t_4			t_5		
	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3
A_0-A_1	1	1	1	1	1 ou 2	3	3	3	3 ou 4	3	4	5	3 ou 4	5	5
A_2	1	1	1 ou 2	1 ou 2	2	3	3	3 ou 4	4	3 ou 4	4	5	4 ou 5	5	5
A_3	1	1 ou 2	2	2	3	3 ou 4	3	3 ou 4	4	4 ou 5	5	5	5	5	5
Alumínio															
	t_1			t_2			t_3			t_4			t_5		
	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3	B_0-B_1	B_2	B_3
A_0-A_1	1	2	2	1	2 ou 3	4	3	3 ou 4	4	3	3 ou 4	5	4	5	5
A_2	1	2	2 ou 3	1 ou 2	3 ou 4	4	3	4	4 ou 5	3 ou 4	4	5	4 ou 5	5	5
A_3	1	2 ou 3	3	3 ou 4	4	4	3 ou 4	4 ou 5	5	4 ou 5	5	5	5	5	5

Nota: A corrosividade é expressa como a parte numérica do código de categoria de corrosividade (exemplo: 1 em vez de C_1)

2.1.4 – Classificação em categorias de corrosividade baseada em medidas da taxa de corrosão de metais-padrão.

Valores numéricos da taxa de corrosão do primeiro ano para metais-padrão (aço-carbono, cobre, zinco e alumínio) são dados na Tabela VI.

TABELA VI – Taxa de Corrosão para Cinco Categorias de Corrosividade

Categoria	Taxas de corrosão dos metais (mdd)*			
	aço-carbono	zinco	cobre	alumínio
C1	$V_m \leq 0,27$	$V_m \leq 0,02$	$V_m \leq 0,02$	desprezível
C2	$0,27 < V_m \leq 5,48$	$0,02 < V_m \leq 0,14$	$0,02 < V_m \leq 0,14$	$V_m \leq 0,02$
C3	$5,48 < V_m \leq 10,96$	$0,14 < V_m \leq 0,41$	$0,14 < V_m \leq 0,33$	$0,02 < V_m \leq 0,05$
C4	$10,96 < V_m \leq 17,80$	$0,41 < V_m \leq 0,82$	$0,33 < V_m \leq 0,68$	$0,05 < V_m \leq 0,14$
C5	$17,80 < V_m \leq 41,09$	$0,82 < V_m \leq 1,64$	$0,68 < V_m \leq 1,37$	$0,14 < V_m \leq 0,27$

* mdd = miligramas por decímetro quadrado por dia

2.2 – Metodologia Conforme a Norma IEC 60815 (NBR 10621)

A metodologia dos ensaios de determinação do nível de poluição natural, método DDSE – Densidade de Depósito de Sal Equivalente, conforme a norma IEC 60815, consiste em lavar com água desmineralizada com volume conhecido, uma determinada área exposta à atmosfera. Os valores encontrados de depósito salino equivalente (mg/cm^2) indicam o grau de poluição do ambiente estudado.

A fórmula empregada para determinar a salinidade equivalente é:

$$S = (5,7 \times C_{20}/10.000)^{1,03}, \text{ onde:}$$

S = salinidade equivalente, (g/L).

C_{20} = condutividade volumétrica a 20 °C, ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

A correção da condutividade deve ser feita utilizando-se a seguinte equação:

$$C_{20} = C_{\theta}[1-b(\theta-20)], \text{ onde:}$$

θ = é a temperatura da solução, (°C).

C_{θ} = é a condutividade volumétrica na temperatura θ °C, (S/m).

C_{20} = é a condutividade volumétrica na temperatura 20°C, (S/m).

b = é o fator dependente da temperatura θ cujos valores são apresentados na Figura 2.

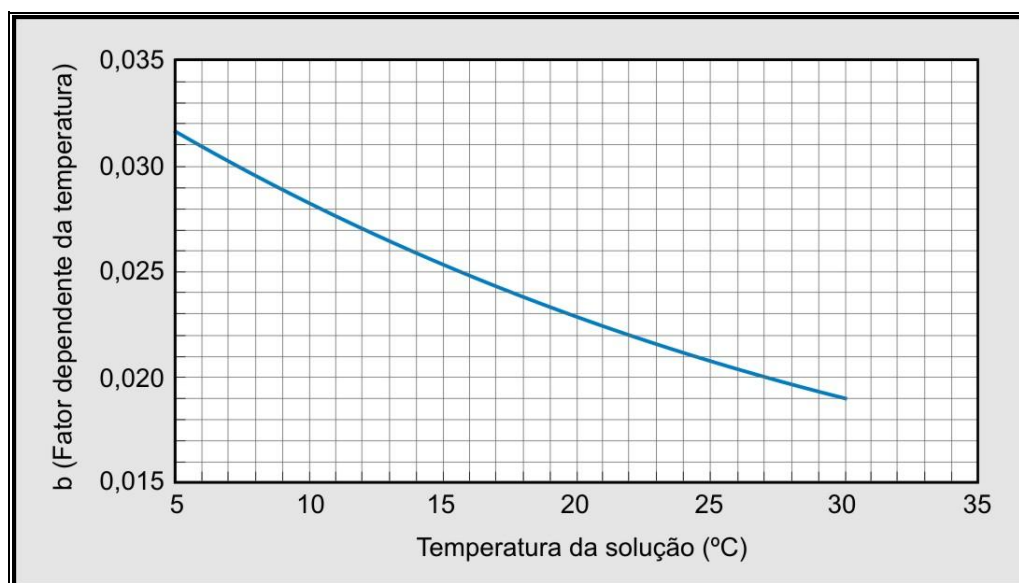


FIGURA 2 - Valores de b.

A fórmula empregada para determinar a densidade de depósito de sal equivalente (DDSE) é:

$$DDSE = S \times V/A, \text{ onde:}$$

S = salinidade equivalente, (g/L)

V = volume de água utilizado, (mL)

A = área determinada para coleta de poluentes, (cm²)

Segundo a norma IEC 60815 a classificação em categorias (classes) de poluição natural baseada nas densidades de depósito de sal equivalente é mostrada na Tabela VII.

TABELA VII – Grau de Poluição Natural

Grau de Poluição	DDSE segundo a norma IEC 60815 (mg/cm ²)
Insignificante	< 0,015
Muito fraco	0,015 a 0,03
Fraco	0,03 a 0,06
Moderado	0,06 a 0,12
Forte	0,12 a 0,24
Muito forte	0,24 a 0,48
Excepcional	> 0,48

3. Estações de Estudo de Corrosão Atmosférica (ECA)

Foram escolhidas estrategicamente três estações de estudo de corrosão atmosférica para monitorar e analisar os corpos-de-prova e os poluentes atmosféricos.

- Estação de Sobradinho (BA), tipicamente rural;
- Estação de Camaçari (BA), tipicamente industrial e
- Estação de fortaleza (CE), tipicamente marinha.

Em cada estação de estudo foram instalados os seguintes corpos-de-prova:

- 12 corpos-de-prova de aço-carbono;
- 12 corpos-de-prova de cobre;
- 12 corpos-de-prova de zinco e
- 12 corpos-de-prova de alumínio.

O tempo de exposição foi de vinte e quatro meses, onde a cada seis meses três corpos-de-prova de cada material eram retirados para análise em laboratório.

Para cada estação foram também instalados um dispositivo de captação de cloreto, um dispositivo de captação de compostos de enxofre e um sensor eletrônico de umidade relativa (UR) e de temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

O acompanhamento dos poluentes foi mensal e a duração do monitoramento foi de doze meses. A monitoração da umidade relativa e da temperatura do ar foi a cada hora ininterruptamente até completar doze meses.

As Figuras 3, 4 e 5 mostram os aspectos visuais das estações de estudo de corrosão atmosférica instaladas na região nordeste do Brasil.

No último lote de retirada dos corpos-de-prova (após dois anos), foram realizadas as determinações das densidades de depósito de sal equivalente (DDSE) em cada estação de estudo.

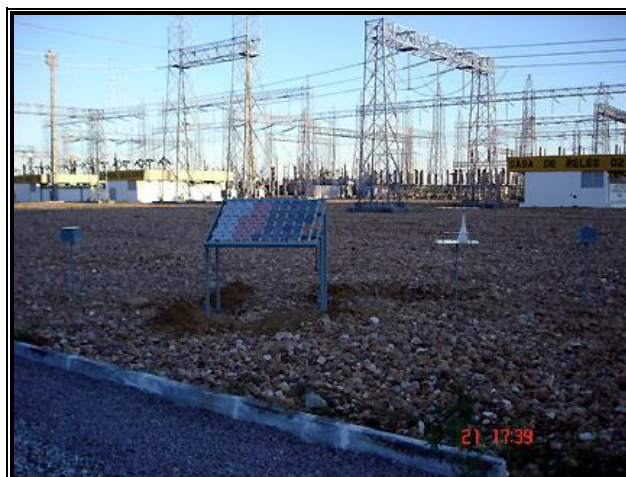


FIGURA 3 – Estação de Estudo de Sobradinho (BA).



FIGURA 4 – Estação de Estudo de Camaçari (BA).



FIGURA 5 – Estação de Estudo de Fortaleza (CE).

4. Resultados

4.1 – Resultados Obtidos Utilizando a Metodologia da Norma ISO 9223

4.1.1 – Taxa de corrosão dos corpos-de-prova metálicos

As Tabelas VIII, IX e X apresentam a perda de massa e a taxa de corrosão dos corpos-de-prova retirados após vinte e quatro meses de exposição nas estações de Sobradinho, Camaçari e Fortaleza, respectivamente.

TABELA VIII - Taxa de Corrosão em Sobradinho

Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença de massa (g)	Área (cm ²)	Tempo de exposição (dias)	Taxa de corrosão	
						mdd*	µm/ano
Al 01	100,7557	100,7414	0,0143	313,60	742	0,01	0,08
Al 02	81,0562	81,0448	0,0114	311,42	742	0,01	0,07
Al 03	80,7610	80,7447	0,0163	310,63	742	0,01	0,09
Cu 01	287,7192	287,4749	0,2443	312,02	742	0,11	0,43
Cu 02	289,1692	288,9285	0,2407	312,29	742	0,11	0,43
Cu 03	287,9338	287,7031	0,2307	312,14	742	0,13	0,41
Fe 01	239,8531	237,7012	2,1519	310,39	742	0,93	4,33
Fe 02	236,4405	234,0142	2,4263	310,48	742	1,05	4,88
Fe 03	235,2661	232,8745	2,3916	309,78	742	1,04	4,83
Zn 01	326,9082	326,6535	0,2547	315,41	742	0,11	0,50
Zn 02	328,7825	328,5482	0,2343	317,21	742	0,10	0,46
Zn 03	330,4379	330,1509	0,2870	320,01	742	0,12	0,56

* mdd = miligramas por decímetro quadrado por dia

TABELA IX – Taxa de Corrosão em Camaçari

Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença de massa (g)	Área (cm ²)	Tempo de exposição (dias)	Taxa de corrosão	
						mdd*	μm/ano
Al 04	81,0896	81,0244	0,0652	311,78	728	0,03	0,38
Al 05	100,1299	100,0620	0,0667	314,72	728	0,03	0,39
Al 06	81,0077	80,9325	0,0752	311,16	728	0,03	0,44
Cu 04	289,2662	288,2370	1,0325	312,16	728	0,45	1,86
Cu 05	288,1616	286,8380	1,3238	312,51	728	0,58	2,38
Cu 06	289,1711	287,8600	1,3071	312,40	728	0,57	2,35
Fe 04	240,1993	209,7400	31,1753	312,57	728	13,76	63,84
Fe 05	235,3556	201,8000	33,5556	311,11	728	14,88	69,03
Fe 06	239,4166	207,5843	31,8323	309,42	728	14,13	65,54
Zn 04	328,5795	327,0192	1,5603	317,86	728	0,67	3,45
Zn 05	328,5408	326,9737	1,5671	319,36	728	0,67	3,44
Zn 06	328,4027	326,8847	1,5180	318,76	728	0,65	3,34

* mdd = miligramas por decímetro quadrado por dia

TABELA X – Taxa de Corrosão em Fortaleza

Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença de massa (g)	Área (cm ²)	Tempo de exposição (dias)	Taxa de corrosão	
						mdd*	μm/ano
Al 07	83,0889	83,0493	0,0396	312,31	729	0,02	0,23
Al 08	80,7895	80,7581	0,0314	310,02	729	0,01	0,19
Al 09	99,3665	99,3319	0,0346	313,89	729	0,02	0,20
Cu 07	288,1649	286,8320	1,3267	312,06	729	0,58	2,39
Cu 08	289,4851	288,2390	1,2462	311,94	729	0,55	2,24
Cu 09	288,9763	287,7510	1,2172	311,14	729	0,54	2,20
Fe 07	238,2284	212,8152	25,4132	310,16	729	11,24	52,13
Fe 08	235,6364	209,5493	26,0871	309,71	729	11,55	54,11
Fe 09	233,0110	207,9423	25,0687	308,96	729	11,13	51,62
Zn 07	329,1786	327,4388	1,7398	318,44	729	0,75	3,83
Zn 08	327,7011	326,2915	1,4096	317,66	729	0,61	3,11
Zn 09	330,4361	328,9444	1,4917	317,70	729	0,64	3,29

* mdd = miligramas por decímetro quadrado por dia

4.1.2 – Teores de poluentes

As Tabelas XI, XII e XIII mostram os teores de Cl^- e SO_2 encontrados nos dispositivos de captação de poluentes instalados nas estações de Sobradinho, Camaçari e Fortaleza, respectivamente.

TABELA XI – Teores de Poluentes em Sobradinho

DATA	Teor de Sulfato (SO_2) mg/m².d	Teor de Cloreto (Cl^-) mg/m².d
MAR/06	3,0	3,0
ABR/06	5,0	1,0
MAI/06	0,5	2,0
JUN/06	1,0	2,0
JUL/06	3,0	2,0
AGO/06	1,0	3,0
SET/06	0,1	1,0
OUT/06	2,4	2,0
NOV/06	0,5	0,1
DEZ/06	0,5	3,0
JAN/07	0,5	2,0
FEV/07	0,1	1,0

TABELA XII – Teores de Poluentes em Camaçari

DATA	Teor de Sulfato (SO_2) mg/m².d	Teor de Cloreto (Cl^-) mg/m².d
MAI/06	18,0	9,0
JUN/06	21,0	10,0
JUL/06	21,0	10,0
AGO/06	15,0	8,0
SET/06	24,0	7,0
OUT/06	23,0	12,0
NOV/06	19,0	11,0
DEZ/06	17,0	9,0
JAN/07	24,0	8,0
FEV/07	22,0	15,0
MAR/07	22,0	7,0
ABR/07	23,0	11,0

TABELA XIII – Teores de Poluentes em Fortaleza

DATA	Teor de Sulfato (SO₂) mg/m².d	Teor de Cloreto (Cl⁻) mg/m².d
AGO/06	0,1	13,0
SET/06	1,0	25,0
OUT/06	0,1	28,0
NOV/06	0,1	15,0
DEZ/06	3,0	12,0
JAN/07	2,0	57,0
FEV/07	0,1	57,0
MAR/07	3,0	24,0
ABR/07	5,0	48,0
MAI/07	2,0	48,0
JUN/07	2,0	16,0
JUL/07	3,0	25,0

4.1.3 – Temperatura e umidade relativa

O tempo de superfície úmida de um dado local depende do binômio temperatura-umidade relativa da atmosfera a céu aberto e da categoria do local, sendo expresso em horas por ano ou como parte do tempo de exposição (em porcentagem).

As Tabelas XIV, XV e XVI mostram o tempo de superfície úmida (tempo de umectação) obtido através de sensores eletrônicos monitorados durante doze meses com registros a cada sessenta minutos, instalados em Sobradinho, Camaçari e Fortaleza, respectivamente.

TABELA XIV – Tempo de Superfície Úmida em Sobradinho

MÊS (2006/2007)	UR 80% (horas)	PORCENTAGEM
MARÇO/06	257	35%
ABRIL/06	346	48%
MAIO/06	195	27%
JUNHO/06	126	17%
JULHO/06	96	13%
AGOSTO/06	123	17%
SETEMBRO/06	64*	9%
OUTUBRO/06	04	0,5%
NOVEMBRO/06	152	21%
DEZEMBRO/06	85	12%
JANEIRO/07	65	9%
FEVEREIRO/07	161*	22%
01 ANO = 8760 horas	1674 horas	19%
TEMPO DE SUPERFÍCIE ÚMIDA	250 < τ < 2500	3 < τ < 30
CATEGORIA	t_3	t_3

*estimado

TABELA XV – Tempo de Superfície Úmida em Camaçari

MÊS (2006/2007)	UR 80% (horas)	PORCENTAGEM
MAIO/06	553	77%
JUNHO/06	618	86%
JULHO/06	406	56%
AGOSTO/06	499	69%
SETEMBRO/06	470	65%
OUTUBRO/06	501	70%
NOVEMBRO/06	542	75%
DEZEMBRO/06	398	55%
JANEIRO/07	417	58%
FEVEREIRO/07	457	63%
MARÇO/07	403	56%
ABRIL/07	488	68%
01 ANO = 8760 horas	5762 horas	66%
TEMPO DE SUPERFÍCIE ÚMIDA	$\tau > 5500$	$\tau > 60$
CATEGORIA	t_5	t_5

TABELA XVI – Tempo de Superfície Úmida em Fortaleza

MÊS (2006/2007)	UR 80% (horas)	PORCENTAGEM
AGOSTO/06	371	51%
SETEMBRO/06	217	30%
OUTUBRO/06	193	27%
NOVEMBRO/06	226	31%
DEZEMBRO/06	306	43%
JANEIRO/07	425	59%
FEVEREIRO/07	442	61%
MARÇO/07	472	66%
ABRIL/07	501	70%
MAIO/07	482*	67%
JUNHO/07	464	64%
JULHO/07	362	50%
01 ANO = 8760 horas	4461 horas	51%
TEMPO DE SUPERFÍCIE ÚMIDA	2500 < τ < 5500	30 < τ < 60
CATEGORIA	t_4	t_4

*estimado

4.2 – Resultados Obtidos Utilizando a Metodologia da Norma IEC 60815

As Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 mostram o procedimento de análise em campo para determinar o grau de densidade de depósito de sal equivalente (DDSE).

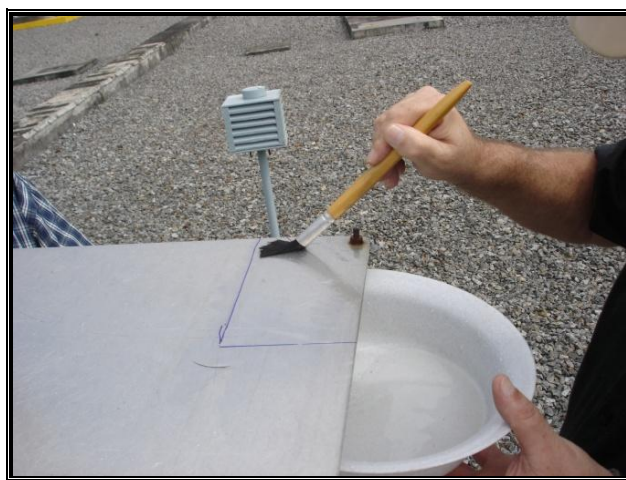


FIGURA 6 – Determinação da Área.



FIGURA 7 – Solubilização do Depósito.



FIGURA 8 – Coleta da Solução.



FIGURA 9 – Determinação da Condutividade.



Figura 10 – Armazenamento da Solução.

Como exemplo, a Tabela XVII mostra o valor da densidade de depósito de sal equivalente, DDSE, para um dado local analisado.

TABELA XVII – Valor da DDSE para a Amostra de Código nº 02.

Amostra N° 2: Painel de corpos-de-prova lado esquerdo	Total
V - volume de água (mL)	200
A - área (cm²)	200
Temperatura (°C)	32
C₂₀ - condutividade a 20°C (μS/cm)	205
pH	6,97
S - salinidade equivalente (g/L)	1,10.10⁻¹
Densidade do depósito salino equivalente (mg/cm²)	1,10.10⁻¹

A Tabela XVIII apresenta os resultados obtidos nas três estações de estudo de corrosão atmosférica.

TABELA XVIII – Resultados da DDSE nas Três Estações.

Estação	DDSE analisado (mg/cm²)	Grau de poluição segundo a norma IEC 60815
Sobradinho-BA	0,045	FRACO
Camaçari-BA	0,14	FORTE
Fortaleza-CE	0,09	MODERADO

5. Discussão dos Resultados

O processo de corrosão atmosférica é um fenômeno descontínuo onde o ataque ao metal ocorre somente quando existe, na superfície metálica, um filme de eletrólito no qual as reações anódicas e catódicas possam ocorrer. A formação do filme de eletrólito na superfície metálica depende dos parâmetros atmosféricos e climáticos no local de exposição, e sua agressividade é função da quantidade e tipo de poluentes presentes na atmosfera (7).

O desempenho global, sob o aspecto de corrosão, de um metal exposto à atmosfera é função de diversos parâmetros relacionados tanto com o ambiente de exposição, como com a natureza do metal e ao projeto do equipamento ou estrutura.

Os ambientes são normalmente classificados quanto à sua agressividade em função do tipo e quantidade de poluentes presentes na atmosfera. Sob o aspecto da corrosão metálica, os poluentes que exercem a maior influência no processo de deterioração metálica são: SO₂, H₂S, NO₂, NO, NaCl e as partículas sólidas.

Os objetivos dos estudos de corrosão atmosférica são:

- Propor sistemas de proteção anticorrosiva adequados para a agressividade ambiental, sendo esta definida pelo conjunto de parâmetros climáticos e meteorológicos, e pela presença de poluentes;
- Estudar o emprego de ligas metálicas alternativas;
- Estimar, com base nos resultados obtidos com a exposição de amostras em estações de ensaio, o comportamento à corrosão de metais em ambientes com características de agressividade semelhantes.

Com base nas Tabelas e Figuras mostradas anteriormente podemos formular as Tabelas XIX a XXII que classificam as categorias de corrosividade e classes de poluição natural das três estações de estudo de corrosão atmosférica analisadas sob a ótica das metodologias das normas ISO 9223 e IEC 60815.

TABELA XIX – Comparação das Agressividades Atmosféricas Segundo as Normas ISO 9223 e IEC 60815 para o Aço-Carbono.

ECA	ISO 9223		IEC 60815 DDSE
	DADOS ATMOSFÉRICOS	TAXA DE CORROSÃO	
SOBRADINHO - BA	BAIXA – C2	BAIXA – C2	FRACO
CAMAÇARI - BA	ALTA – C4	ALTA – C4	FORTE
FORTALEZA - CE	MÉDIA – C3	ALTA – C4	MODERADO

TABELA XX – Comparação das Agressividades Atmosféricas Segundo as Normas ISO 9223 e IEC 60815 para o Cobre.

ECA	ISO 9223		IEC 60815 DDSE
	DADOS ATMOSFÉRICOS	TAXA DE CORROSÃO	
SOBRADINHO - BA	MÉDIA – C3	BAIXA – C2	FRACO
CAMAÇARI - BA	ALTA – C4	ALTA – C4	FORTE
FORTALEZA - CE	MÉDIA – C3	ALTA – C4	MODERADO

TABELA XXI – Comparação das Agressividades Atmosféricas Segundo as Normas ISO 9223 e IEC 60815 para o Zinco.

ECA	ISO 9223		IEC 60815 DDSE
	DADOS ATMOSFÉRICOS	TAXA DE CORROSÃO	
SOBRADINHO - BA	MÉDIA – C3	BAIXA – C2	FRACO
CAMAÇARI - BA	ALTA – C4	ALTA – C4	FORTE
FORTALEZA - CE	MÉDIA – C3	ALTA – C4	MODERADO

TABELA XXII – Comparação das Agressividades Atmosféricas Segundo as Normas ISO 9223 e IEC 60815 para o Alumínio.

ECA	ISO 9223		IEC 60815 DDSE
	DADOS ATMOSFÉRICOS	TAXA DE CORROSÃO	
SOBRADINHO - BA	MÉDIA – C3	MUITO BAIXA – C1	FRACO
CAMAÇARI - BA	ALTA – C4	MÉDIA – C3	FORTE
FORTALEZA - CE	MÉDIA – C3	BAIXA – C2	MODERADO

As Tabelas XIX A XXII mostram correlações de agressividade atmosférica entre as normas ISO 9223 e IEC 60815 e indicam que quaisquer das metodologias empregadas, os resultados ou laudos quanto à classificação da agressividade atmosférica são bastante próximos entre si.

5.1 – Considerações

Os resultados discutidos neste trabalho estão baseados na metodologia da norma ISO 9223 de 1992 e na metodologia da norma IEC 60815 de 1986, pois os mesmos foram obtidos entre os anos de 2005 a 2007. No entanto, a norma IEC 60815 foi revisada em 2008 e sofreu alterações significativas tanto nos procedimentos de ensaios quanto na forma de apresentar as classes de poluição natural ou os graus de agressividade do ambiente.

As principais alterações e inovações na metodologia da norma foram:

- Reconhecimento que o grau de poluição natural tem dois componentes, ou seja, a quantificação de substâncias solúveis pelo método DDSE e a quantificação de substâncias não-solúveis pelo método DDNS.
- Novas classes ou categorias de agressividade atmosférica.

Desta forma, segue abaixo uma descrição sucinta da metodologia utilizada pela norma IEC 60815, homologada a partir de 2008, a qual poderia ser utilizada nas próximas investigações sobre a classe ou categoria de agressividade atmosférica de um determinado local.

A metodologia para a determinação da densidade de depósito de sal equivalente, DDSE, manteve-se inalterada.

Na norma revisada foi acrescentada a densidade de depósito de não-solúveis, DDNS, cuja metodologia para sua determinação é:

A densidade de depósito de não-solúveis (DDNS) é calculada pela equação:

$$\text{DDNS} = 1.000(W_f - W_i)/A, \text{ onde:}$$

DDNS = densidade de depósito de não-solúveis, (mg/cm²)

W_f = peso do papel filtro contendo os poluentes sob condições secas, (g)

W_i = peso inicial do papel filtro sob condições secas, (g)

A = área determinada para a coleta de poluentes, (cm²)

A Figura 11 mostra o procedimento para a determinação da DDNS.

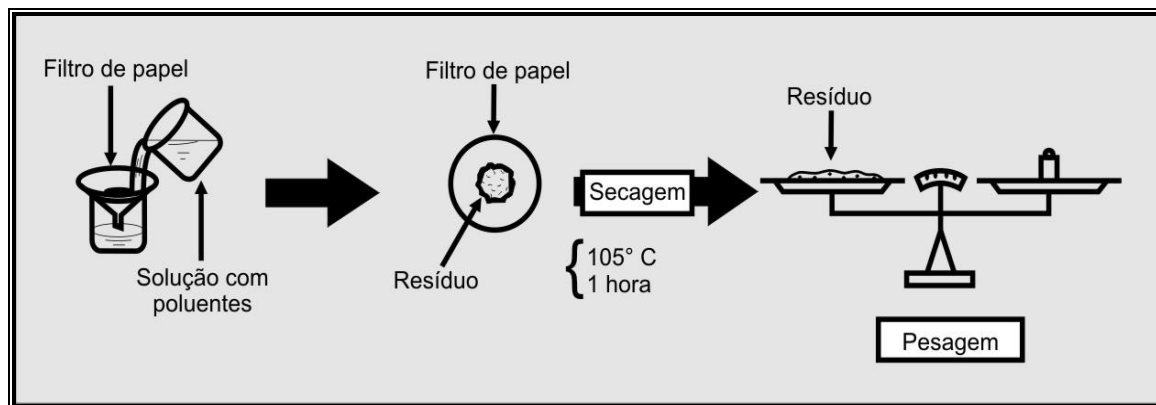


FIGURA 11 – Procedimento para a Determinação da DDNS

Para propósitos de padronização, a norma IEC 60815-2008 criou cinco classes de poluição natural que caracterizam de forma qualitativa a severidade dos locais, desde a poluição natural muito baixa até a poluição natural muito alta.

A Tabela XXIII mostra a equivalência entre a classificação da agressividade atmosférica da norma IEC 60815-2008 e da norma ISO 9223-1992.

TABELA XXIII – Equivalência de Classificação da Agressividade entre as Duas Normas

NORMA IEC 60815-2008	NORMA ISO 9223-1992
A - Muito Baixa	C1 - Muito Baixa
B - Baixa	C2 - Baixa
C - Média	C3 - Média
D - Alta	C4 - Alta
E - Muito Alta	C5 - Muito Alta

A Figura 12 mostra os intervalos dos valores DDSE/DDNS compreendendo cada classe de poluição natural ou cada categoria de corrosividade atmosférica.

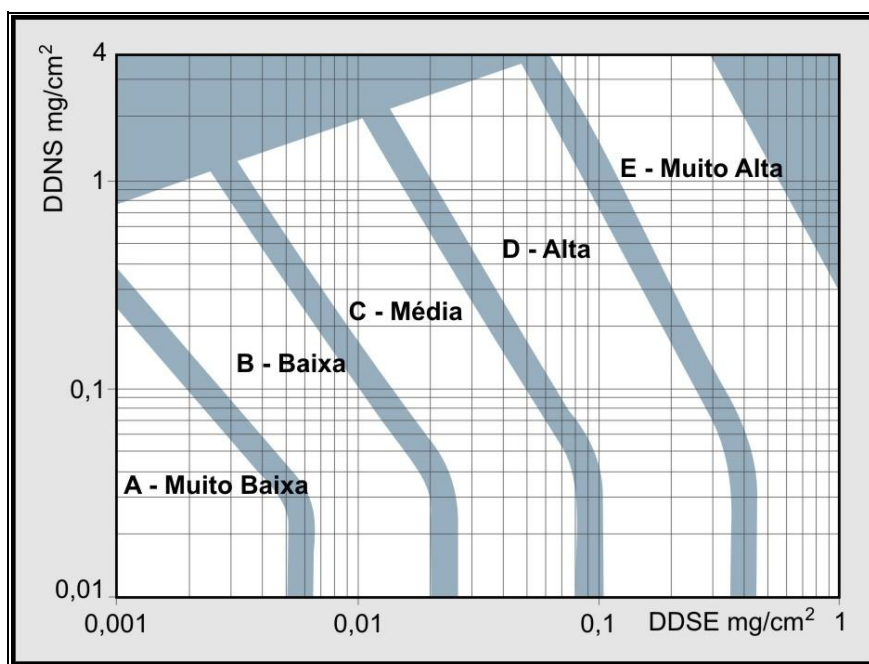


FIGURA 12 – Relação entre DDSE/DDNS.

Caso seja conveniente, a análise química dos sais solúveis pode ser realizada em laboratório utilizando a solução após a determinação da DDSE, por meio de cromatografia de troca iônica (IC), espectroscopia de emissão por plasma, fotometria etc. Os resultados das análises podem mostrar a quantidade de íons positivos, isto é, Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} e íons negativos, isto é, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- .

6. Conclusões

- As análises para a determinação da categoria ou classe de corrosividade atmosférica utilizando tanto a metodologia da norma ISO 9223 quanto à metodologia da norma IEC 60815, mostraram resultados equivalentes, significando que ambas classificam o ambiente estudado com o mesmo grau de severidade.
- A norma ISO 9223 discrimina e quantifica tanto a taxa de corrosão dos materiais expostos quanto os teores de poluentes monitorados no ambiente estudado, enquanto que a norma IEC 60815 somente qualifica o ambiente estudado.
- A obtenção dos resultados através da metodologia da norma ISO 9223 exige períodos de monitoramento relativamente longos, logística de transporte, comunicação e disponibilidade de pessoal no campo ao longo dos ensaios, enquanto que a obtenção de resultados através da metodologia da norma IEC 60815 é relativamente rápida e simples.

- O estudo e a análise para a determinação da agressividade atmosférica conforme a metodologia da norma ISO 9223 exige altos custos financeiros, enquanto que o estudo e a análise para a determinação da agressividade atmosférica segundo a norma IEC 60815 não é onerosa, isto é, não demanda altos custos financeiros.

7. Referências Bibliográficas

- (1) ISO 9223:1992 –Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification.
- (2) ISO 9224:1992 –Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Guiding values for the corrosivity categories.
- (3) ISO 9225:1992 –Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Measurement of pollution.
- (4) ISO 9226:1992 –Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
- (5) MORCILLO, M.; ALMEIDA, E.; ROSALES, B.; URUCHURTU, J.; MARROCOS, M. Corrosion y proteccion de metales en las atmosferas de iberoamerica – Parte I: mapas de iberoamerica de corrosividad atmosferica (proyecto micat, XV.1/CYTED), 1998. 816p.
- (6) IEC/TS 60815-1:2008 – Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions – Part 1: Definitions, information and general principles.
- (7) ASTM STP 1421 – Outdoor atmospheric corrosion, August, 2002