

MODELAGEM DA TAXA DE CORROSÃO DO ALUMÍNIO, AÇO CARBONO, AÇO GALVANIZADO E COBRE DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR BAHIA UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Kelly J.C. Brambilla¹; Kleber F. Portella²; Mário Seixas Cabussú³; Príncia Ap. M. Pereira⁴; Dailton P. Cerqueira⁵; Luiz A. de Lacerda⁶

Sinopse

Descrição de uma abordagem para a determinação da taxa de corrosividade e de deterioração do aço carbono, aço galvanizado, cobre e alumínio da rede aérea de distribuição de energia elétrica (RD) da região metropolitana de Salvador-BA e Porto Seguro-BA. A metodologia foi baseada na implantação de 8 estações de corrosão atmosférica, ECA's, abrangendo diferentes ambientes corrosivos. Foram monitorados, mensalmente, a taxa de deposição dos principais poluentes atmosféricos (íons cloreto, sulfato, medida de severidade da taxa de poluição por meio de calibradores direcionais de poeira (DDDGs). Em paralelo, foram monitorados também, dados meteorológicos, a fim de se obter subsídios para a classificação da corrosividade atmosférica. Nestas ECA's foram instalados, além dos módulos de coleta de poluentes, painéis de intemperismo natural com corpos de prova dos materiais metálicos: aço carbono, aço galvanizado, alumínio e cobre. Foi desenvolvido um modelo de redes neurais artificiais com o objetivo de prever a taxa de corrosão destes metais em função de parâmetros ambientais monitorados na região citada. Os resultados obtidos indicaram que a rede neural construída pode ser utilizada como estimativa para a predição da taxa de corrosão dos metais com os parâmetros ambientais trabalhados na região metropolitana de Salvador-BA.

INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico ocorrido no último século veio acompanhado de uma maior utilização de peças e estruturas metálicas em todos os setores da sociedade. Este fato torna o estudo da corrosão, particularmente no que diz respeito ao seu controle, fundamental para preservar a vida útil destes materiais, além de minimizar gastos oriundos dos processos corrosivos. Segundo o estudo realizado nos Estados Unidos entre 1999 e 2001, verificou-se que o custo total da corrosão por ano foi da ordem de US\$ 276 bilhões (3,1% PIB americano) sendo que deste valor, US\$ 69 a 82 bilhões (1% PIB) poderiam ser economizados se todas as medidas viáveis de prevenção e controle da corrosão fossem postas em prática [1]. No Brasil, a estimativa de gastos relativos aos processos corrosivos está na faixa de US\$ 15 bilhões ao ano, podendo-se economizar cerca de US\$ 5 bilhões mediante o uso de métodos de prevenção e controle [2].

A importância da atmosfera, como meio corrosivo, pode ser confirmada pelo grande número de publicações científicas utilizando diferentes materiais metálicos e prolongados períodos de exposição, nos mais diferentes países [3]. Esta atmosfera, por sua vez, também se tornou mais poluída e, conseqüentemente, mais agressiva aos materiais nela expostos, dada a quantidade incessante de gases, produtos e vapores químicos lançados diariamente [4].

As proporções destes contaminantes são variáveis, dependem da proximidade das

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

fontes emissoras e das condições locais, tais como: temperatura, precipitação, umidade relativa, radiação solar, vento, velocidade do fluido ou vazão, absorvidade e tipo de solo, pressão, entre outros [2, 3]. Assim, como por exemplo, nos locais com alto teor de partículas em suspensão, a velocidade dos ventos pode atuar como agente veiculador da degradação por erosão. É por isso que não é recomendável estudar a corrosão atmosférica sem o estudo preliminar dos aspectos meteorológicos e ambientais que interferem sobre a mesma [5].

A corrosão pode ser definida como processo de reação química ou eletroquímica que caracteriza uma interação destrutiva entre um material e o meio circundante. Para se instalar o processo corrosivo é necessária a presença de um eletrólito, como por exemplo, a água, uma diferença de potencial, além de oxigênio e em alguns casos agentes agressivos encontrados no meio [6].

Assim, o estudo das variáveis que influenciam no processo de corrosão atmosférica é de fundamental relevância, haja vista que grande parte dos materiais presentes no cotidiano está susceptível ao processo de degradação. Tem-se, como exemplo, a maioria dos metais das linhas de distribuição e transmissão de energia elétrica, bem como de comunicação de dados, tais como: cabos, torres, linhas telefônicas, acessórios de rede, entre outros [7].

Salvador é uma cidade de clima quente e úmido, tipicamente tropical, com cerca de 2.466 h anuais de sol, ventilada (ventos anuais com velocidade média de 2,2 m/s) e uma temperatura média anual de 25 °C. É considerada uma das cidades mais ensolaradas do mundo, com umidade média anual da ordem de 81%, tendo a vantagem de ser cercada pelo mar em três de seus lados. Estas condições climáticas são ideais para a atração turística, mas, extremamente prejudiciais aos materiais de engenharia, principalmente nos locais onde há, concomitantemente, poluição industrial. Assim, têm-se como desvantagens, em boa parte das regiões analisadas: ambiente propício à corrosão ou degradação dos materiais como os metálicos, pela instauração de um tempo de superfície úmida (t) elevado (> 4.000 h/ano), neste caso, classificado pela NBR 14643/01 [8], como t_4 , ou seja, de alta corrosividade ambiental (C_4); altas taxas de salinidade e material particulado de dureza elevada, devidos aos ventos predominantes em direção ao continente, podendo causar corrosão atmosférica pelos íons cloretos e sulfatos e, também, erosão por abrasão das superfícies dos materiais e, alta taxa de radiação solar, com valor médio >2.400 h/ano, o que amplia a possibilidade de degradação dos materiais, principalmente, os poliméricos [9].

Estudos recentes [10,11] trazem o desenvolvimento de modelos representativos baseados na metodologia de redes neurais artificiais para prever a taxa de corrosão dos metais, os quais estão sendo bem aceitos devido ao seu potencial em prever quaisquer processos complexos desde que selecionados com rigor os parâmetros de arquitetura da rede.

Com base nestas informações, esta pesquisa propõe apresentar uma metodologia para classificação da corrosividade atmosférica, aliada a modelos matemáticos de previsão da taxa de corrosão a partir de redes neurais, baseados no monitoramento de contaminantes atmosféricos e dados meteorológicos da região metropolitana de Salvador-BA, bem como estudar o desempenho de diferentes materiais metálicos (aço carbono 1020; aço galvanizado; alumínio liga 6351 e cobre eletrolítico).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Modelagem da taxa de corrosão utilizando redes neurais artificiais

Foram desenvolvidos estudos [12-15] de modelos representativos baseados na

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

metodologia de redes neurais artificiais para prever a taxa de corrosão dos metais, os quais estão sendo bem aceitos devido ao seu potencial em prever quaisquer processos complexos desde que selecionados com rigor os parâmetros de arquitetura da rede.

No neurônio artificial, as entradas são valores numéricos ($x_1, x_2, \dots, x_n$), os quais são ponderados e somados para compor um único sinal de entrada [16].

O pré-processamento dos dados, definição e treinamento da rede neural artificial foram montados em um algoritmo para ser analisado com o software MatLabR. Neste treinamento foi feita a normalização e a validação dos dados.

As redes neurais proporcionam então, o desenvolvimento de um modelo, para prever a taxa de corrosão de alguns metais de interesse para o setor elétrico, como aço carbono, cobre, aço galvanizado e alumínio, considerando contaminantes atmosféricos.

EXPERIMENTAL

Para a classificação e a correlação da região de Salvador-Ba foram levantados dados referentes a 7 ECAs localizadas em distintas áreas abrangendo desde os ambientes mais agressivos, devido à salinidade e aos poluentes industriais, até os menos agressivos nas regiões mais afastadas da orla marítima e de complexos industriais.

Regiões de monitoramento

Na Tabela 1, encontram-se listados os módulos e o período de coleta de dados para cada ECA.

Estações de Intemperismo Natural

As placas foram instaladas conforme norma ABNT NBR 6209 [17].

Os CPs foram devidamente cortados, desengraxados com solvente (acetona), preparados por limpeza química, pesados e tiveram sua área determinada conforme a norma ABNT NBR 6210 [18].

Os CPs foram retirados com periodicidade trimestral. Neste trabalho, foi adotada a remoção dos produtos gerados, dissolvendo-os em reagentes químicos adequados para cada tipo de material, conforme as normas ABNT NBR 6210 e ASTM G1-90 [19].

A massa final dos CPs após remoção dos produtos de corrosão foi determinada pela interseção das retas correspondentes à remoção dos produtos de corrosão e ao ataque do metal-base.

A taxa de corrosão foi obtida pelo método gravimétrico, conforme norma [20].

A determinação do teor de cloretos e da taxa de sulfatação total na atmosfera foi realizada conforme as normas ABNT NBR 6211 [21] e ABNT NBR 6921 [22].

O estudo da corrosão em placa de alumínio foi realizado pela medida da profundidade de pite, após sua exposição na ECA de Amaralina por aproximadamente um ano. O equipamento utilizado foi um banco metalográfico MM6.

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

Tabela 1. Módulos de coleta instalados na região de Salvador-BA.

ECA's	Período de instalação		Localização	Módulos de coleta
	Início	Fim		
1	24/9/2008	18/9/2009	Cajazeiras (CJD)	(1); (2); (3); (4)
2	24/9/2008	18/9/2009	Complexo Industrial (CIU)	(1); (2); (3); (4)
3	25/9/2008	19/9/2009	Paripe (PPE)	(1); (2); (3); (4)
4	25/9/2008	19/9/2009	Pituba (PIT)	(1); (2); (3); (4)
5	26/9/2008	20/9/2009	Sauípe (SPS)	(1); (2); (3); (4)
6	29/9/2008	20/9/2009	Camaçari (CMU)	(1); (2); (3); (4)
7	30/9/2008	20/9/2009	Amaralina (AML)	(1); (2); (3); (4)

Nota: (1) coletor de cloretos; (2) coletor de sulfatos; (3) coletor de partículas sedimentáveis; (4) painel de intemperismo natural com placas metálicas.

RESULTADOS

Taxa de cloretos totais na atmosfera das ECA's instaladas na Bahia

Na Tabela 2, está listada a concentração média anual de cloretos obtida no período de setembro de 2008 a setembro de 2009.

Taxa de dióxido de enxofre total na atmosfera das ECA's instaladas na Bahia

A taxa de deposição anual de SO₂, para cada ECA, está apresentada na Tabela 3 e no Gráfico 5, no período citado anteriormente.

Medida de severidade do grau de poluição por meio de calibradores direcionais de poeira (DDDGs)

As condutividades das soluções contendo as partículas sedimentáveis (PS) coletadas nas ECA's instaladas na Bahia estão listadas na Tabela 4.

Comparação entre os valores de taxa de corrosão experimental e os valores calculados pela rede neural.

As taxas de corrosão do aço carbono, alumínio, cobre e aço galvanizado estão apresentadas nos gráficos 1, 2, 3 e 4.

A agressividade do íon cloreto em placas de alumínio [23] foi obtida pela medida da profundidade de pite que ficou entre 13 a 38 µm, num total de 32 pontos analisados.

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

Tabela 2. Taxa média de cloretos ($\text{mg Cl}^-/\text{m}^2.\text{dia}$) referente ao período aproximadamente de setembro de 2008 a setembro de 2009.

Nº	ECA	Média ($\text{mg Cl}^-/\text{m}^2.\text{dia}$)
1	CJD	13
2	SE CIU	6
3	SE PPE	8
4	SE PIT	78
5	SE SPS	9
6	CMU	8
7	AML	274

Tabela 3. Taxa média de dióxido de enxofre ($\text{mg SO}_2/\text{m}^2.\text{dia}$) referente ao período de setembro de 2008 a setembro de 2009.

Nº	ECA	Média ($\text{mg SO}_2/\text{m}^2.\text{dia}$)
1	CJD	27
2	SE CIU	36
3	SE PPE	26
4	SE PIT	28
5	SE SPS	26
6	CMU	34
7	AML	33

Tabela 4. Taxa média de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) referente ao período de setembro de 2008 a setembro de 2009 .

Nº	ECA	Média ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1	CJD	81
2	SE CIU	66
3	SE PPE	55
4	SE PIT	106
5	SE SPS	48
6	CMU	81
7	AML	369

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

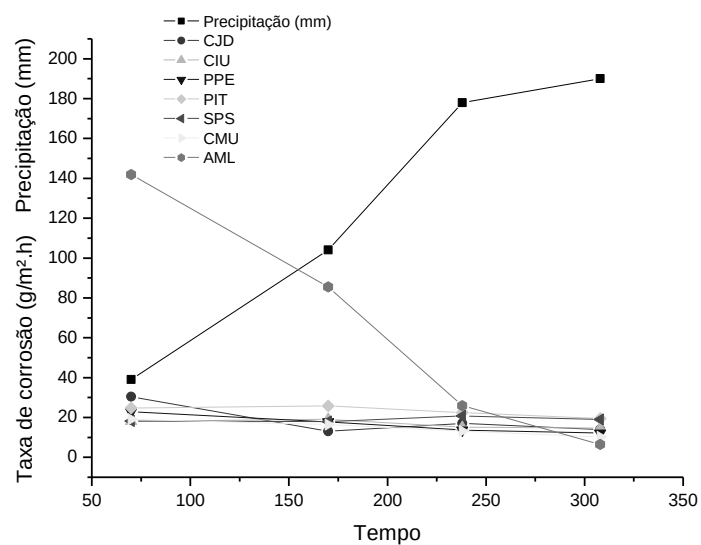


Gráfico 1. Taxa de corrosão (g/m².h) do aço galvanizado no período, assim como a precipitação (mm).

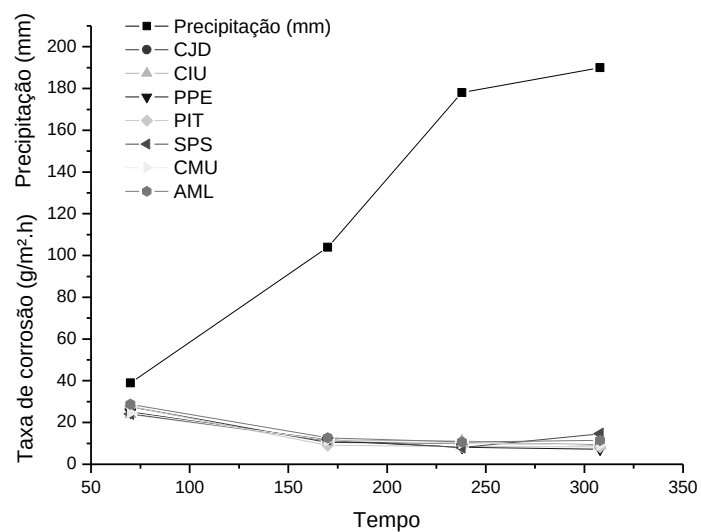


Gráfico 2. Taxa de corrosão (g/m².h) do alumínio no período, assim como a precipitação (mm).

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

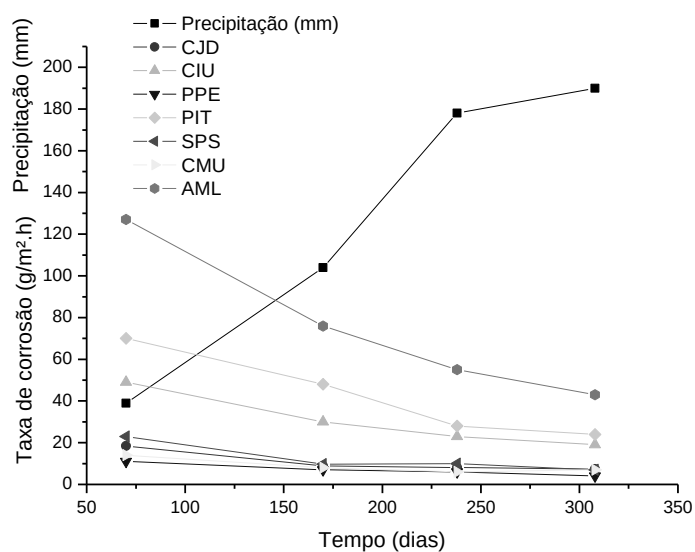


Gráfico 3. Taxa de corrosão (g/m².h) do cobre no período, assim como a precipitação (mm).

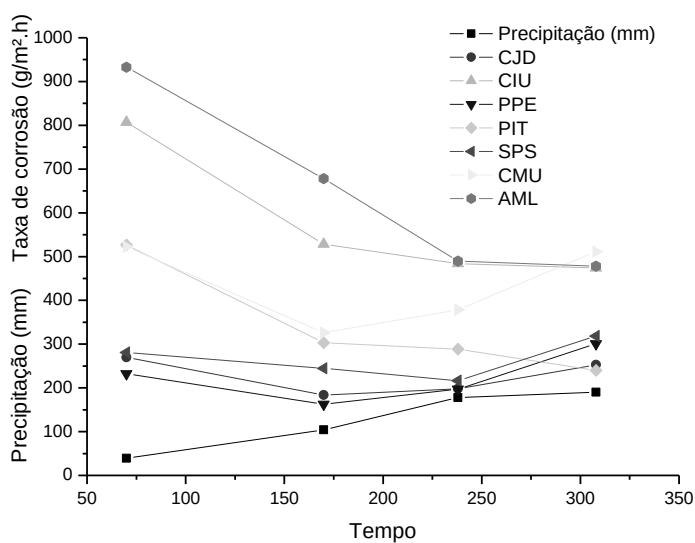


Gráfico 4. Taxa de corrosão (g/m².h) do aço carbono no período, assim como a precipitação (mm).

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

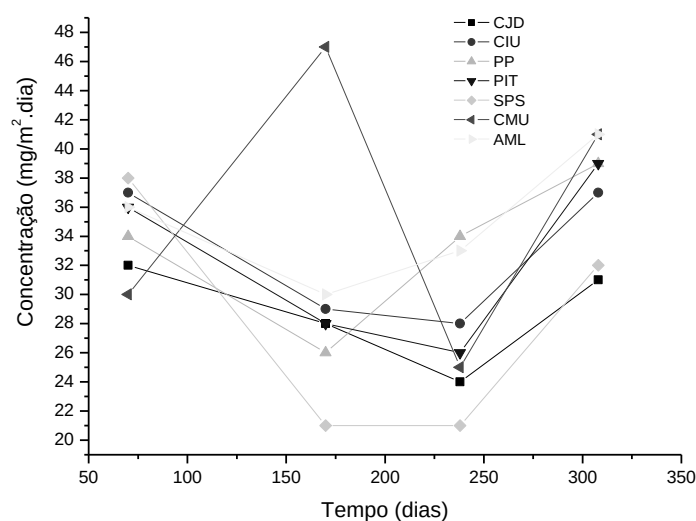


Gráfico 5. Concentração de sulfatos ($\text{mg/m}^2.\text{dia}$) por tempo das estações de corrosividade atmosférica instaladas no período.

Com exceção do aço carbono, todos os outros metais demonstraram com o tempo uma tendência de diminuição em relação à taxa de corrosão. Uma possível explicação para este fato seria a influência da chuva correlacionada a concentração de sulfatos sobre o aço carbono, como pode ser visto nos Gráficos 4 e 5. Observa-se nestes Gráficos uma elevação das taxas nos mesmos períodos em que o aço apresentou uma elevação de sua taxa nas respectivas estações de Sauípe, Paripe e Cajazeiras.

Simulação da taxa de corrosão para os metais de aço carbono, aço galvanizado, cobre e alumínio

O conjunto de dados foi proveniente de um total de 28 CPs de aço carbono, aço galvanizado, cobre e alumínio, que foram expostos nas ECA's da RMS. Foram considerados os dados de concentração de poluentes e de partículas sedimentáveis, bem como os da taxa de corrosão de cada CP.

Assumindo-se que a evolução da corrosão segue a Equação (1) de Pourbaix [24].

$$M = K \cdot t^n \quad (1)$$

Onde:

(M) representa a taxa de corrosão em ($\text{g/m}^2.\text{ano}$); (t) e o tempo de exposição em meses ou anos; (K) e (n) são as constantes calculadas pela linearização logarítmica dessa equação.

O efeito passivante do ambiente pode não ser observado no primeiro ano, na maioria das vezes ele é perceptível a partir do segundo ano [25,26], desta forma não foi possível fazer uma predição da taxa de corrosão e sim apenas uma estimativa da taxa considerando as correlações entre os resultados de taxa de corrosão experimentais e os calculados pela rede.

A norma NBR 14643 [27] da ABNT, classifica a corrosividade atmosférica e caracteriza a atmosfera em cinco categorias de corrosividade, variando de C_1 (muito baixa) a C_5 (muito alta), conforme demonstrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada**.5.

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

Tabela 5. Categorias de corrosividade atmosférica segundo dados obtidos no primeiro ano de exposição [27].

categoria de corrosividade	unidades	zinco	cobre	alumínio	aço carbono
C ₁	g/m ² /ano	≤ 0,7	≤ 0,9	desprezível	≤10
	µm/ano	≤ 0,1	≤ 0,1	desprezível	≤ 1,3
C ₂	g/m ² /ano	0,7 -5	0,9-5	≤ 0,6	10-200
	µm/ano	0,1- 0,7	0,1-0,6	-	1,3-25
C ₃	g/m ² /ano	5-15	5-12	0,6 - 2	200-400
	µm/ano	0,7-2,1	0,6-1,3	-	25-50
C ₄	g/m ² /ano	15-30	12-25	2-5	400-650
	µm/ano	2,1-4,2	1,3-2,8	-	50-80
C ₅	g/m ² /ano	30-60	25-50	5-10	650-1500
	µm/ano	4,2-8,4	2,8-5,6	-	80-200

As Tabelas 6, 7, 8 e 9 ilustram a relação entre os resultados experimentais das taxas de corrosão e os resultados das taxas calculados pelas redes neurais dos metais alumínio, cobre, aço galvanizado e aço carbono. Assim como suas respectivas classificações de corrosividade.

Tabela 6. Relação da taxa de corrosão experimental (g/m².h) e os calculados pela redes neurais (g/m².h) referentes ao aço carbono.

Dados experimentais	Classificação	Dados Calculados	Classificação
240	C3	340	C3
252	C3	268	C3
300	C3	304	C3
319	C3	304	C3
474	C4	307	C3
478	C4	311	C3
511	C4	293	C3

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

Tabela 7. Relação da taxa de corrosão experimental ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$) e os calculados pela redes neurais ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$) referentes ao cobre.

Dados experimentais	Classificação	Dados Calculados	Classificação
4	C2	14	C4
7	C3	14	C4
7	C3	14	C4
7	C3	14	C4
19	C4	13	C4
24	C4	13	C4
43	C5	33	C5

Tabela 8. Relação da taxa de corrosão experimental ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$) e os calculados pela redes neurais ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$) referentes ao aço galvanizado.

Dados experimentais	Classificação	Dados Calculados	Classificação
6	C3	22	C4
10	C3	17	C4
12	C3	16	C4
14	C3	16	C4
15	C3	17	C4
19	C4	16	C4
19	C4	16	C4

Tabela 9. Relação da taxa de corrosão experimental ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$) e os calculados pela redes neurais ($\text{g/m}^2\cdot\text{h}$) referentes ao alumínio.

Dados experimentais	Classificação	Dados Calculados	Classificação
7	C5	9	C5
8	C5	9	C5
8	C5	9	C5
9	C5	9	C5
9	C5	9	C5
9	C5	9	C5
11	C5+	9	C5

De acordo com as Tabelas 6, 7, 8 e 9, observou-se que houve uma diferença entre as classificações estabelecidas para os valores experimentais e os valores calculados, com exceção para o alumínio, que variou apenas um resultado. Uma razão para este fato pode ser explicado pelos valores de desvio padrão de cada metal, de acordo com a Tabela 10. Observou-se que o alumínio obteve o menor valor de desvio padrão, desta forma a classificação de uma forma geral não variou, uma vez as redes neurais obtêm melhores

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

resultados com valores pequenos de desvio padrão. Foi possível observar também que em relação aos resultados experimentais dos outros metais, o desvio padrão variando para mais ou para menos, obteve diferentes classificações de corrosividade, este fato poderia explicar as diferenças de classificação também entre os valores dos resultados experimentais e os calculados.

Tabela 10. Valores da média, desvio padrão e as variações do desvio padrão dos metais aço carbono, alumínio, cobre e aço galvanizado.

Metais	Média (X)	Desvio Padrão (σ)	$X - \sigma$	Classificação	$X + \sigma$	Classificação
aço carbono	368	116	252	C3	484	C4
alumínio	9	1	8	C5	10	C5
cobre	16	14	2	C2	30	C5
aço galvanizado	14	5	9	C3	19	C4

De uma forma geral foi observada boa concordância entre os dados experimentais e os calculados, demonstrando desta forma a boa capacidade da rede neural artificial em aprender a estimar taxas de corrosão a partir de um conjunto de dados relativos à região metropolitana de Salvador-BA.

É importante enfatizar que o modelo com redes neurais para a determinação do grau de corrosividade do ambiente levou em consideração o comportamento dos metais em diferentes locais na região metropolitana de Salvador-BA, e não somente o comportamento do metal em uma única estação.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade do uso de redes neurais para modelar a taxa de corrosão. Portanto, este modelo pode ser empregado para estimar parâmetros globais dentro da região estudada, considerando para isso, as taxas de sulfatação, deposição de cloretos e de partículas sedimentáveis na atmosfera.

Com exceção do aço carbono, todos os outros metais demonstraram com o tempo uma tendência de diminuição em relação à taxa de corrosão. A possível explicação para este fato em relação ao aço carbono foi a influência da chuva correlacionada com a concentração de sulfatos.

A agressividade do íon cloreto nas placas de alumínio de acordo com o estudo da profundidade de pites de 32 pontos em uma placa da estação de Amaralina, apresentou cavidades de profundidade entre 13 a 38 μm .

REFERÊNCIAS

1. "Corrosion costs and preventive strategies in the United States of America". In: <http://www.NACE.org>.
2. COELHO, J. F. P., "A nova ABRACO". In: <http://www.abraco.org.br>.
3. GENTIL, V.; Corrosão. 4.^a edição, Ed. LTC: Rio de Janeiro, 2003, 53 p.
4. VIANA R. O.; O programa de corrosão atmosférica desenvolvido pelo CENPES. Boletim técnico PETROBRAS, V. 23, n. 1, p. 39-47, 1980.

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

5. PORTELLA, K. F.; LACERDA, L. A. de; CAMARGOS, J. V. de; *et al.*; Pesquisa e desenvolvimento de metodologias para estudo de corrosão em usinas termelétricas a diesel/gás. *Relatório Técnico LACTEC 19742, ELETRONORTE/ANEEL*, 60 2006.
6. SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. Ed. Pini, São Paulo, 1998.
7. SICA, C. Y.; **Mapeamento da corrosividade atmosférica de São Luiz – MA e a correlação das variáveis ambientais que influenciaram na degradação dos materiais metálicos**. Curitiba 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.
8. BARTON, K. Protection Against Atmospheric Corrosion. Theories and Methods, translation: John R. Duncan, Nottingham University, Ed John Wiley & Sons, 1976.
9. MORCILLO, M.; ALMEIDA, E.; ROSALES, B.; URUCHURTU, J.; MARROCOS, M.; Corrosión y protección de metales en las atmósferas de iberoamerica: programa CYTED. Gráficas Salué: Madrid, 1998, 816 p.
10. JONES, D. A.; Principles and Prevention of Corrosion, 2^a ed., Department of Chemical and Metallurgical Engineering, University of Nevada, Reno, 1996, 600p.
11. RINCÓN A., SÁNCHEZ M., ROMERO N., SALAS O., DELGADO R., LÓPEZ B., URUCHURTU J., MARROCO M., PANOSIAN Z., **“Construction and Building Materials”**, *Sciencedirect*, v. 23, p. 1465-1471, 2009.
12. RINCON, O. T. Tratamiento mediante una red neuronal artificial de los datos de corrosion atmosferica obtenidos: programa CYTED. Seccion B-8 , p. 661- 677. Madrid: Graficas Salue, 1998.
13. PINTOS, S.; QUEIPO, N. V.; RINCON, O. T.; RINCON, A.; MORCILLO, M. Artificial neural network modelling of atmospheric corrosion in the MICAT project. **Corrosion Science**, V. 42, p. 35-52, 2000.
14. Helliwell, I; Turega, M.; Cottis, R. Neural networks for corrosion data reduction. In: Corrosion 96, Denver, USA. p. 739, 1996.
15. ROBERGE, P. R.; KLASSEN, R. D.; HABERECHE, P. D. Atmospheric corrosivity modeling - a review. **Materials & Design**, V. 23, p. 321-330, 2002.
16. AZEVEDO, F.M.; BRASIL, L.M. e de OLIVEIRA R.C.L. **Redes Neurais Com Aplicacoes em Sistemas Especialistas**. Florianópolis: Bookstore, 2000.
17. ABNT NBR 6209: *materiais metálicos não revestidos – ensaio não acelerado de corrosão atmosférica*. Rio de Janeiro, 1986.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6210: preparo, limpeza e avaliação da taxa de corrosão de corpos de prova em ensaios de corrosão atmosférica. Rio de Janeiro, 1982, 16 p.
19. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G 1-90: Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. 1990, 7 p.
20. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G 1-90: Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. 1994, 3 p.
21. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6211: determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida. Rio de Janeiro, 2001, 6 p.
22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6921: sulfatação total na atmosfera – determinação da taxa pelo método da vela de dióxido de chumbo. Rio de Janeiro, 2002, 7 p.
23. SICA, Y. C.; KENNY, E. D.; PORTELLA, K. F.; FILHO, A. D. F. C. **Atmospheric Corrosion Performance of Carbon Steel, Galvanized Steel, Aluminum and Copper in the North Brazilian Coast**. J. Braz. Chem. Soc., Vol 18. No. 1, 153-166, 2007.

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

24. POURBAIX, M. International cooperation in the prevention of corrosion of materials. In: IX International Congress of metallic Corrosion. Florenca, Italia. Anais. 1990.
25. ROBERGE, P. R.; KLASSEN, R. D.; HABERECHT, P. D. Atmospheric corrosivity modeling - a review. **Materials & Design**, V. 23, p. 321-330, 2002.
26. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14643: corrosao atmosferica – classificacao da corrosividade de atmosferas. Rio de Janeiro, 2001, 11p.

¹ Mestranda, Química - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

² Doutor, Químico - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

³ Mestre, Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁴ Engenheira de Produção Mecânica - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)

⁵ Engenheiro Eletricista - COELBA (Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia)

⁶ Doutor, Engenheiro Civil - LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento)