

O Impacto da Poluição Atmosférica sobre a Rede Aérea de Distribuição de Energia da Ilha de São Luís

E. D. Kenny, LACTEC, O. M. Cruz, CEMAR, J.M.da Silva, LACTEC, J.Lázaris, LACTEC, J.V.Novaes Jr., LACTEC, Y.C.Sica, LACTEC, M. Ravaglio, LACTEC, P.R.Mendes, CEMAR. J.C.Mendes, CEMAR

RESUMO

O presente trabalho está sendo desenvolvido em parceria com a Companhia Energética do Maranhão – CEMAR, por um período de dois anos e tem como principal objetivo mapear a Ilha de São Luís quanto ao grau de corrosividade atmosférica e sua influência sobre os alimentadores de 13.8 kV e 69 kV, e com isto promover uma redução nos desligamentos intempestivos ocorridos principalmente durante o período em que é reduzido o índice pluviométrico. Para isto estão sendo monitorados alguns parâmetros na atmosfera, tais como cloretos, sulfatos e partículas sedimentáveis, os quais são correlacionados com parâmetros meteorológicos que tem influência direta sobre o processo da degradação de materiais, como temperatura, umidade relativa, precipitação, ventos, insolação, evaporação e radiação solar. Foram selecionados cinco ambientes distintos para implantação de Estações para o estudo da Corrosão Atmosférica, são eles: Subestação Renascença (nas proximidades de mangue); Subestação Itaqui (nas proximidades da Companhia Vale do Rio Doce); UEMA (campus da Universidade Estadual do Maranhão, em frente ao Núcleo de Meteorologia); Praia do Meio (orla marítima com rebentação de ondas e forte influência das marés e dos ventos); e Panaquatira (orla marítima com mar calmo e forte influência dos ventos). As Estações de Corrosão Atmosférica são compostas de estação para monitoramento de poluentes e estação de Intemperismo Natural onde foram expostos corpos de prova de materiais metálicos padrões utilizados no sistema aéreo de distribuição de energia com o objetivo de avaliar o desempenho anticorrosivo desses materiais: aço baixo carbono, aço inoxidável, alumínio, cobre, aço revestido com zinco, alumínio e ligas de zinco-alumínio pelos processos de aspersão térmica e imersão a quente. Também foram instaladas três unidades piloto para monitoramento de isoladores a

diferentes distâncias da orla marítima - 0, 100 e 200 metros -, com o objetivo de poluir naturalmente o isolador durante o período de seca mais crítico, de agosto a dezembro, para então ser avaliado o seu desempenho em laboratório, uma vez que um dos maiores problemas enfrentados na região é com os sistemas de isolamento durante este período de poucas chuvas, agravado por ser área tropical costeira, o que implica na permanência prolongada dos cristais de sal na superfície dos condutores, ferragens, postes e equipamentos. Os isoladores instalados para acompanhamento em cada unidade foram de pino polimérico e de porcelana de 15 kV, dois de pino de porcelana de 27 kV, um de pino multicorpo de porcelana de 34,5 kV e duas cadeias de isoladores, sendo uma de vidro e uma de polimérico de 69 kV, conforme disponibilidade das amostras em almoxarifado. As amostras foram instaladas em final de julho e retiradas em início de dezembro. Está previsto a realização de ensaios de frequência industrial e impulso atmosférico em laboratório, a fim de comparar a suportabilidade dos isoladores poluídos em relação ao isolador novo, sem poluição. Serão realizados ensaios dielétricos com os isoladores poluídos, ligeiramente umedecidos, bem umedecidos e razoavelmente molhados, submetidos à condição de chuva leve e sob condição de chuva pesada, a fim de verificar a redução da suportabilidade dos isoladores em função do grau de poluição natural a que foram submetidos. Deste modo pretende-se reduzir a ocorrência de falhas e interrupções no sistema de distribuição de energia elétrica. Com o resultado dessa pesquisa vislumbra-se uma economia para a CEMAR da ordem de no mínimo 20% em materiais.

PALAVRAS-CHAVE

Corrosão atmosférica; degradação de materiais; poluição ambiental.

I. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que todos os materiais se degradam pela influência das condições atmosféricas. Estas influências são principalmente o oxigênio, a umidade e os contaminantes atmosféricos. Outra importante fonte de degradação é a radiação global do sol. Todos estes parâmetros constituem o que se denomina macroclima de uma determinada região. Em contrapartida, o microclima

é o clima específico que se forma ao redor do objeto, o qual é de importância fundamental para a compreensão dos mecanismos de degradação atmosférica dos materiais, sejam eles metálicos, poliméricos ou cerâmicos. Entre os parâmetros que definem o microclima podemos considerar a formação de orvalho, ou em geral o tempo de umedecimento da superfície, bem como o aquecimento dos objetos pela radiação global, especialmente a radiação infravermelha, e o acúmulo de íons de natureza ácida sobre a película aquosa depositada sobre o objeto. Em se tratando de corrosão atmosférica metálica, é importante ressaltar que o seu mecanismo é essencialmente eletroquímico, e portanto, considera-se praticamente desprezível este fenômeno quando o material encontra-se em

E. D. Kenny – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC; e-mail: elaine@lactec.org.br;

O. M. Cruz – Companhia Energética do Maranhão – CEMAR; e-mail: omaramaldo@ceamar-ma.com.br

uma atmosfera seca à temperatura ambiente. Sendo assim, as precipitações aquosas como chuva, neve, neblina e a condensação da umidade devido a mudanças de temperatura (orvalho) são fatores determinantes no processo da corrosão atmosférica. É importante lembrar que a presença de sais higroscópicos, tais como o cloreto de sódio (NaCl), tende a abaixar a umidade relativa crítica na superfície do metal e os processos de corrosão, nesse caso, irão depender das características da superfície metálica (tipo de metal), bem como da concentração de gases corrosivos e partículas em suspensão na atmosfera e sua velocidade de deposição. Apesar de ser a corrosão atmosférica, talvez a mais velha e conhecida forma de corrosão, e de ser um tema de fundamental importância para o setor elétrico, como em tantos outros setores, ainda há numerosas dúvidas sobre os mecanismos que governam as reações, e as variáveis que influenciam a cinética com que se desenvolve os seus processos. Um dos motivos desta lacuna é que este fenômeno começou a ser seriamente investigado somente após 1920 e ainda hoje persiste a dificuldade com estudos e ensaios em laboratório por meio de técnicas da ciência dos materiais e da eletroquímica, pois um dos maiores problemas com que se deparam os pesquisadores é a simulação precisa em laboratório das condições meteorológicas e atmosféricas que encontra-se na prática.

Atualmente, o principal motivo que move a pesquisa dos fenômenos é de ordem econômica, e neste caso, as perdas diretas e indiretas causadas pela corrosão atmosférica são enormes. São da ordem de US\$ 10 bilhões/ano no Brasil, sendo que vinte por cento deste montante poderia ser economizado se fosse utilizada a tecnologia de tratamento de superfície adequada.

Além do aspecto econômico, representado pela necessidade de redução das perdas de materiais que se produzem por desgaste progressivo, outro fator relevante é o aspecto da preservação das reservas mundiais de minérios, as quais são limitadas e, cujo consumo abusivo corresponde a um desperdício de reservas energéticas.

É com esse enfoque que este estudo de pesquisa e desenvolvimento se propõe a desenvolver metodologias para classificação da corrosividade do ambiente ao qual estão expostas algumas linhas de distribuição da Ilha de São Luís, para com esses dados podermos atuar sobre o melhor desempenho de materiais estruturais, componentes metálicos e principalmente isoladores, os quais vem apresentando sérios problemas de manutenção à concessionária, e por consequência aos usuários, devido ao grande número de desligamentos intempestivos.

II- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados Meteorológicos

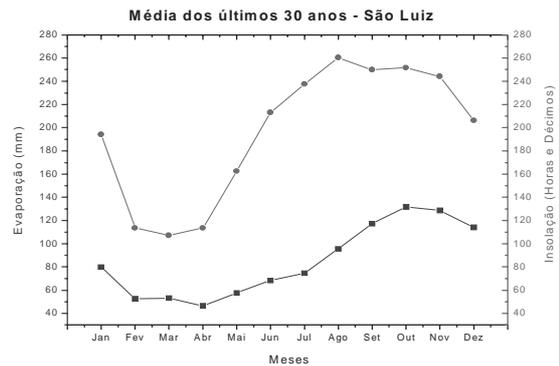


FIGURA 1 - Curvas de evaporação e precipitação representando valores médios mensais obtidos nos últimos 30 anos na Ilha de São Luís

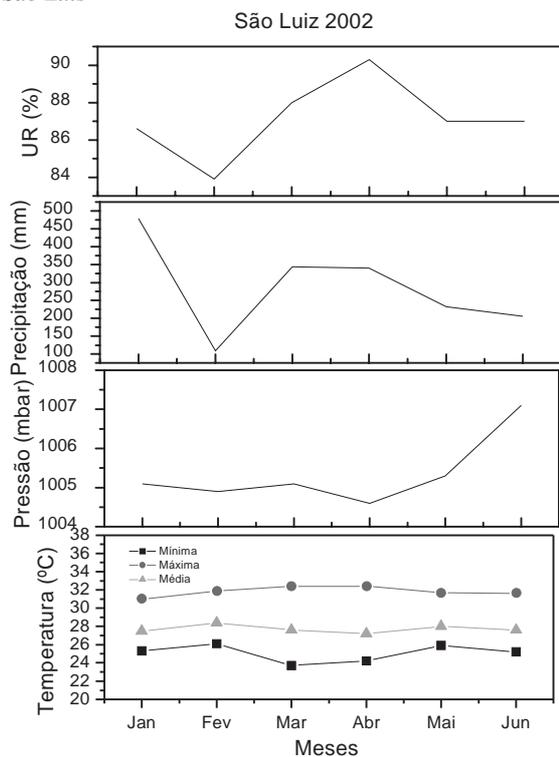


FIGURA 2 - Gráficos apresentando dados meteorológicos obtidos durante os meses de janeiro a junho de 2002 na Ilha de São Luís

Com base nos gráficos analisados pode-se estabelecer que:

- De acordo com a classificação climática de Köppen, considerando a temperatura e a pluviosidade médias anuais, podemos classificar a Ilha de São Luís entre o clima Am - Equatorial e Aw - Tropical, marcado pelas temperaturas médias entre 27 e 29°C e uma pluviosidade em torno de 1700 a 1900 mm/ano, caracterizando-se por apresentar duas estações bem definidas: período de seca (de agosto a dezembro) e período de chuvas (dezembro a julho).
- De acordo com a norma ISO 9223, o tempo de superfície úmida calculado em função do intervalo de tempo em que a umidade relativa é maior que 80% e a temperatura está acima de 0°C classifica a atmosfera da Ilha de São Luís na

categoria de corrosividade “t4”, isto é, atmosfera de alta corrosividade. A condição apresentada de elevada umidade relativa aliada a altas temperaturas favorece os processos de deterioração dos materiais na atmosfera, principalmente no caso da corrosão atmosférica de metais. Este índice de deterioração da atmosfera (I), obtido através de dados meteorológicos, pode ser calculado pela seguinte expressão de Brooks: $I=(HR-65)P/100$ onde HR é a umidade relativa média anual e P é a pressão de saturação do vapor de água na atmosfera correspondente a temperatura média anual. Portanto, o grau de deterioração da atmosfera da Ilha de São Luís é igual a 4,7 o que a classifica como atmosfera corrosiva com índice de deterioração moderado com tendência a alto

Estações de Poluentes

A média encontrada até agora para cloretos, sulfatos e partículas sedimentáveis em cada estação são apresentadas nas tabelas 1, 2 e 3 respectivamente.

TABELA 1
Médias mensais do teor de cloretos na atmosfera de São Luís – Ano 2002

Período	Cl ⁻ (mg / m ² . dia)				
	ECA 1	ECA 2	ECA 3	ECA 4	ECA 5
Mar/Mai	15,82	8,24	N	N	N
Mai/Jun	24,10	17,22	137,73	105,02	6,90
Jun/Jul	21,52	17,83	78,91	84,29	7,17
Jul/Ago	71,74	29,89	213,23	257,07	11,95
Agosto	110,33	40,35	332,20	426,60	7,69
Setembro	248,62	98,34	664,87	776,34	14,84
Outubro	179,48	69,35	498,54	601,47	11,27
Média	95,94	40,17	320,91	375,13	9,97

N – Coletores não instalados no período.

TABELA 2
Médias mensais da taxa de sulfatação total na atmosfera de São Luís – Ano 2002

Período	SO ₃ (mg / 100 cm ² . dia)				
	ECA 1	ECA 2	ECA 3	ECA 4	ECA 5
Mar/Mai	0,023	0,073	N	N	N
Mai/Jun*	0,398*	0,4*	0,346*	0,454*	0,266*
Jun/Jul	0,079	0,057	0,048	0,026	0,018
Jul/Ago	0,066	0,031	0,101	0,136	0,007
Agosto	0,075	0,022	0,176	0,184	0,007
Setembro	0,099	0,031	0,167	0,177	0,012
Outubro	0,088	0,034	0,208	0,272	0,025
Média	0,072	0,041	0,140	0,159	0,014

* Dados desconsiderados no cálculo da média devido a problemas operacionais

N – Coletores não instalados no período

TABELA 3
Teor de partículas sedimentáveis na Ilha de São Luís – Ano 2002

Período	PARTÍCULAS SEDIMENTÁVEIS (g/m ² , 30 dias)	
	ECA 1	ECA 2
Mai/Jun	4,950	1,170
Jun/Jul	5,076	2,564
Jul/Ago	3,917	3,597
Agosto	5,099	4,402
Setembro	5,198	5,010
Outubro	5,602	5,024

As figuras 3, 4 e 5 apresentam os valores médios mensais da taxa de sulfatação, teor de cloretos e teor de partículas sedimentáveis, respectivamente, encontrados no ano de 2002 para as 5 ECA's, por meio de diagrama de barras.

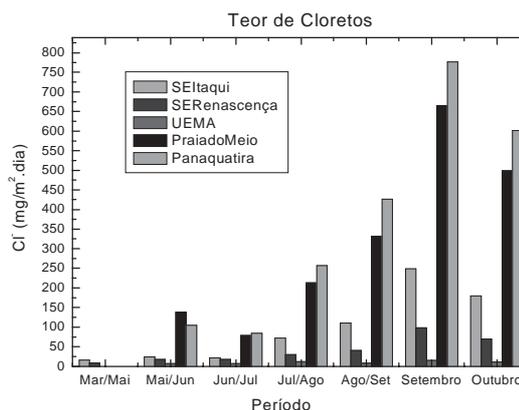


FIGURA 3 - Gráficos apresentando dados de cloretos obtidos durante os meses de Março a Outubro de 2002 na Ilha de São Luís

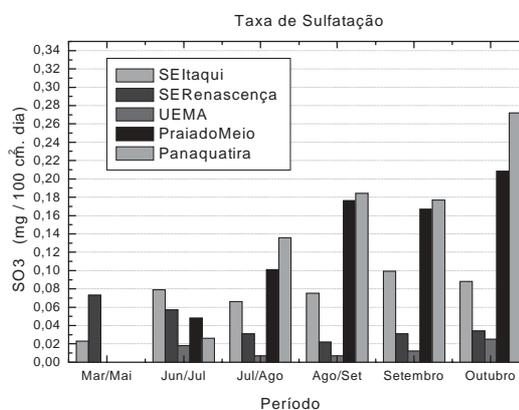


FIGURA 4 - Gráficos apresentando dados da Taxa de Sulfatação obtidas durante os meses de Março a Outubro de 2002 na Ilha de São Luís

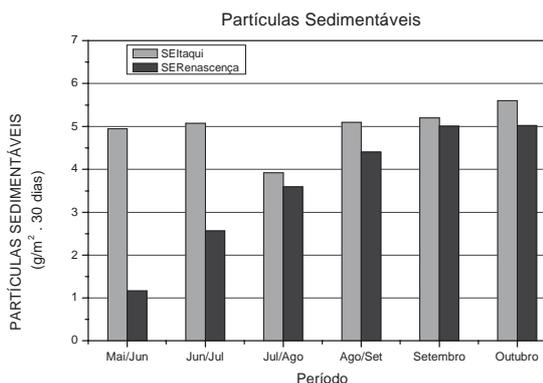


FIGURA 5 - Gráficos apresentando dados do Teor de partículas sedimentáveis obtidos durante os meses de Março a Outubro de 2002 na Ilha de São Luís

A tabela 4 apresenta a classificação da agressividade do ambiente de cada ECA com base nos resultados de poluentes obtidos neste ano de amostragem,

TABELA 4
Classificação da agressividade do ambiente

Local	ECA 1	ECA 2	ECA 3	ECA 4	ECA 5
Tipo de Ambiente Corrosivo	Marinho	Marinho	Marinho	Marinho	Rural

Porém, quando classificada a corrosividade do ambiente, ou seja, a agressividade atmosférica sobre metais e ligas metálicas baseada nos dados atmosféricos, conforme norma ISO 9223:1992, as categorias de corrosividade são apresentadas em função do teor de poluentes e do tempo de superfície úmida. A Tabela 5 apresenta a classificação da atmosfera de cada ECA em categorias de corrosividade com base nos resultados de poluentes.

TABELA 5
Classificação de contaminação por poluentes – ISO 9223

LOCAL	ECA 1	ECA 2	ECA 3	ECA 4	ECA 5
CATEGORIA DE CORROSIVIDADE DA ATMOSFERA	A0 B2	A0 B1	A1 B3	A1 B3	A0 B1

A Tabela 6 apresenta a classificação da agressividade atmosférica sobre os metais padrões, para cada ECA, em categorias de corrosividade com base nos resultados de poluentes e de tempo de superfície úmida.

TABELA 6
Categorias de corrosividade estimada na atmosfera – ISO 9223

METAL PADRÃO	ECA 1	ECA 2	ECA 3	ECA 4	ECA 5
Aço Carbono	C4	C3	C5	C5	C3
Zinco e Cobre	C4	C3	C5	C5	C3
Alumínio	C4	C3	C5	C5	C3

Onde: C3 – corrosividade média; C4 – corrosividade alta; C5 – corrosividade muito alta

Estações de Intemperismo Natural

Após cinco meses, foi realizada inspeção visual dos corpos de prova expostos nas Estações de Intemperismo Natural de Renascença e Itaquí.

Foram retirados os corpos de prova R4, A2 e C1 de Itaquí e o R3 de Renascença, e trazidos para laboratório para determinação da taxa de corrosão por meio de ensaio de perda de massa, conforme ABNT NBR 8278, cujos resultados são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7
Taxa de corrosão dos corpos de prova retirados após 5 meses de exposição nas Estações de Intemperismo Natural

CP	Data		Tempo de Exposição (dias)	Taxa de corrosão	
	Instalação	Retirada		(g/m ² .ano)	(um/ano)
C1	17/05/02	15/10/02	151	68,33	7,621
A2	17/05/02	15/10/02	151	13,14	4,691
R3	17/05/02	15/10/02	151	280,32	35,624
R4	16/05/02	15/10/02	152	177,83	22,569

As elevadas taxas de corrosão apresentadas pelo cobre e pelo alumínio na Estação de Itaquí atribui-se ao fenômeno da corrosão galvânica em função da deposição de finas partículas do minério de ferro sobre a superfície metálica. Serão também realizadas medidas de profundidade

de ataque por microscopia óptica para melhor avaliação do fenômeno. Em contrapartida, surpreendeu a baixa taxa de corrosão do aço na Estação de Renascença.

A Tabela 8 apresenta as categorias de corrosividade das Estações de Intemperismo Natural de Itaquí e Renascença segundo o critério de classificação baseado na taxa de corrosão de corpos-de-prova padrão (chapa plana), obtida para o primeiro ano de exposição, conforme tabela 6 da ISO 9223.

TABELA 8
Categorias de corrosividade baseada na taxa de corrosão de metais padrão conforme ISO 9223

	Aço carbono	Alumínio	Cobre
Renascença	C2 - C3		
Itaquí	C3	C5	C5

Onde: C2 – corrosividade baixa; C3 – corrosividade média; C5 – corrosividade muito alta

Em paralelo à instalação das ECA's também foi realizada inspeção nas redes de distribuição de Araçagi, Praia do Meio, Avenida Litorânea, Praia de São Marcos e arredores, onde foram visualizados alguns problemas de corrosão intensa.

Um levantamento do ano de 2001 apontou 229 interrupções durante o período de seca, tendo como causa o "salitre". Em face deste elevado grau de salinidade a CEMAR executa a lavagem dos isoladores e buchas de transformadores de distribuição instalados próximos da orla marítima, durante este período. (Em 2001 trabalharam cinco equipes de lavagem com ciclo de cinco dias por setor, das 7 as 19 horas, no período de agosto a dezembro).

Várias tentativas já foram realizadas pela CEMAR para amenizar o problema e reduzir a frequência de lavagem dos isoladores. Entre elas a utilização de isoladores de classe 34,5 kV em sistema com tensão de operação de 13,8 kV, o emprego de isoladores poliméricos e isoladores híbridos. Neste sentido, propôs-se a instalação de unidades de monitoramento do grau de poluição de isoladores a fim de verificar o comprometimento da isolação desses equipamentos caso o procedimento padrão de lavagem não seja aplicado.

INSTALAÇÃO DE UNIDADES PILOTO DE MONITORAMENTO DE ISOLADORES

Foram instaladas três unidades de monitoramento em região considerada de alta agressividade, sendo um deles à beira mar e os outros dois a cada 100 metros, avançando em direção ao interior da ilha.

Cada unidade é constituída por um poste de concreto e de duas cruzetas de concreto, na quais foram instalados um isolador de pino polimérico (classe 15 kV), um isolador de pino multicorpo de porcelana (classe 34,5 kV), um isolador de pino de porcelana (classe 15 kV), dois isolado-

res de pino de porcelana (classe 27 kV), uma cadeia de isoladores de vidro (classe 69 kV) e um isolador polimérico (classe 69 kV). A Figura 6 mostra a unidade de monitoramento instalada na Praia do Meio próxima a orla marítima, e outras duas semelhantes foram instaladas a 100 metros da orla e a 200 metros da orla.



FIGURA 6 - Unidade de monitoramento instalada próxima à praia

Os isoladores instalados eram novos, tendo sido limpos antes de sua instalação nas unidades de monitoramento. Ficaram instalados, não energizados, até início de dezembro, antes da temporada de chuvas, quando então foram retirados, devidamente armazenados e encaminhados para o LACTEC para ensaios de alta tensão. Uma unidade nova de cada isolador também será ensaiada para comparação de desempenho com as unidades poluídas.

Em laboratório serão realizados ensaios em frequência industrial e impulso atmosférico, a fim de comparar a suportabilidade dos isoladores poluídos em relação ao isolador novo, sem poluição. Deverão ser realizados ensaios dielétricos com os isoladores poluídos, ligeiramente umedecidos, bem umedecidos, razoavelmente molhados, submetidos à condição de chuva leve e sob condição de chuva pesada, de acordo com as normas vigentes da ABNT NBR 5032 e NBR 5049.

Deste modo, pretende-se verificar a redução da suportabilidade dos isoladores em função do grau de poluição natural a que foram submetidos, e propor um cronograma de manutenção adequado.

III. CONCLUSÃO

Considerando-se os objetivos da primeira fase do trabalho:

- “Implantar uma rede de monitoramento de poluentes na Ilha de São Luís a fim de classificar a agressividade do ambiente e proceder ao mapeamento da ilha quanto a corrosividade sobre diferentes materiais utilizados nas redes de distribuição aéreas e nos alimentadores de 13,8 kV e 69 kV. Esta rede tem como finalidade medir o índice de poluição e agressividade do meio sobre os

materiais através de parâmetros como: taxa de sulfatação – SO_3 , teor de cloretos – Cl e teor de partículas sedimentáveis aliados aos parâmetros meteorológicos como temperatura, umidade, precipitação, evaporação, insolação, pressão, radiação global, direção e velocidade de ventos que exercem influência direta sobre o processo da degradação de materiais.

- Inspeção e acompanhamento do desempenho anticorrosivo dos materiais utilizados nas redes de distribuição aéreas localizadas em ambientes mais críticos, ou seja, próximas da orla marítima, com levantamento criterioso do número de defeitos que causaram desligamentos em consequência da poluição.
- Instalar unidades piloto de monitoramento de isoladores de 15kV a 72,5kV em regiões consideradas de elevada agressividade atmosférica, para acompanhamento do grau de poluição atingido a fim de verificar o comprometimento da isolamento desses equipamentos por meio de ensaios de alta tensão em laboratório.

É possível concluir que foram cumpridas todas as etapas previstas, isto é:

- a) as estações de corrosão atmosférica foram implantadas;
- b) os métodos de ensaio foram otimizados e os parâmetros de poluição estão sendo monitorados mensalmente;
- c) foram instalados os painéis contendo materiais metálicos padrões para o estudo de intemperismo natural;
- d) foram instaladas três unidades de monitoramento de isoladores em região de elevada agressividade, os quais após o envelhecimento serão avaliados em laboratório e, se necessário, serão instaladas novas amostras para acompanhamento na segunda etapa do projeto.

Com os resultados encontrados até agora, temos apenas a região de UEMA classificada como ambiente rural de baixa agressividade, enquanto todas as outras classificam-se como ambiente marinho, sendo a região de Panaquatira como a mais agressiva, classificada na categoria de atmosfera apresentando corrosividade muito alta, seguida da Praia do Meio. A região de Itaqui classificada na categoria de corrosividade alta e Renascença na categoria de corrosividade média.

A elevada corrosividade apresentada por estes ambientes está diretamente relacionada apenas com o elevado teor de cloretos e elevado tempo de superfície úmida, pois até agora a taxa de sulfatação encontrada é muito baixa, contrariando o que se esperava na região de Itaqui e Renascença. Também observa-se um grande aumento do teor de poluentes ao longo dos meses, o que por enquanto atribui-se ao período de seca.

Apesar das classificações de corrosividade atmosférica e interpretações estarem baseando-se na média dos dados coletados até agora (de abril a novembro) é importante lembrar que perante a corrosão atmosférica estamos diante de dois fenômenos bastante distintos:

um que ocorre no período de dezembro a julho e outro que ocorre de agosto a dezembro, em função das estações de seca e de chuva. Portanto, alguns dos comentários que estão sendo realizados agora poderão ser alterados no final do próximo ano quando então teremos dados levantados durante todo o ano e portanto, um acompanhamento das variações sazonais para um melhor entendimento de como acontecem e evoluem os processos corrosivos.

Mesmo assim, ainda que poucos dados tenham sido levantados, cumprimos com os objetivos de implantação das estações, desenvolvimento de métodos de ensaio, e agora continuaremos trabalhando no segundo ano com a coleta de dados já otimizada e com a formação do banco de dados para procedermos a uma análise crítica desses dados que possibilite a interpretação e o modelamento matemático dos resultados.

IV. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Energética do Maranhão-CEMAR; ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento-LACTEC; ao Núcleo Estadual de Meteorologia e Recursos Hídricos da Universidade Estadual do Maranhão – NEMRH, que disponibilizou os dados meteorológicos da região, à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, e a todos aqueles profissionais que, de forma direta e/ou indireta, colaboraram para a execução deste trabalho.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALMEIDA, L. A.; PANOSSIAN, Z. **Corrosão atmosférica 17 anos**. São Paulo: IPT, 1999. 130 p., (Instituto de Pesquisas Tecnológicas).
- [2] ARROYAVE, C.; MORCILLO, M. The effect of nitrogen oxides in atmospheric corrosion of metals. **Corrosion Science**, V. 37, n. 2 2, p. 293-305, 1995.
- [3] CHUNG, K. W.; KIM, K. B. A study of the effect of concentration build-up of electrolyte on the atmospheric corrosion of carbon steel during dryng. **Corrosion Science**, V. 42, p. 517-531, 2000.
- [4] CLINE, P.; LANNES, W.; RICHARDS, G. Use of pollutions monitors with a neural network to predict insulator flashover. **Electric Power Systems Research**, V. 42, p. 27-33, 1997.
- [5] CORVO, F.; BETANCOURT, N.; MENDOZA, A. The influence of airborne salinity on the atmospheric corrosion of steel. **Corrosion Science**, V. 37, n. 12 12, p. 1889-1901, 1995.
- [6] CORVO, F.; HACES, C.; BETANCOURT, N.; MALDONADO, L.; VÉLEVA, L.; ECHEVERRIA, M.; RINCÓN, O. T.; RINCÓN, A. Atmospheric corrosivity in the caribbean area. **Corrosion Science**, V. 39, n. 5 5, p. 823-833, 1997.
- [7] CORVO, F.; MENDOZA, A. R.; AUTIE, M.; BETANCOURT, N. Role of water adsorption and salt content in atmospheric corrosion products of steel. **Corrosion Science**, V. 39, n. 4 4, p. 815-820, 1997.
- [8] DEFLORIAN, F.; ROSSI, S. Premature corrosion failure of structural highway components made from weathering steel. **Engineering Failure Analysis**, V. 9, p. 541-551, 2002.
- [9] DILLMANN, P.; BALASUBRAMANIAM, R.; BERANGER, G. Characterization of protective rust on ancient indian iron using microprobe analyses. **Corrosion Science**, V. 44, p. 2231-2242, 2002.
- [10] DUTRA, A. C.; VIANNA, R.; Atmospheric Corrosion Testing in Brazil, In: ALILOR, W. H., (ed): **Atmospheric Corrosion**, New York, London, 1982.
- [11] EL-MAHDY, G. A.; NISHIKATA, A.; TSURU, T. Electrochemical corrosion monitoring of galvanized steel under cyclic wet-dry conditions. **Corrosion Science**, V. 42, p. 183-194, 2000.
- [12] ESMANHOTO, J. M.; KENNY, E. D.; Tratamento estatístico do desempenho de materiais metálicos no Estado do Paraná. Congresso Brasileiro de Corrosão, 17º, V.1, p.297, 1993.
- [13] FELIÚ, S.; MORCILLO, M. **Corrosión y protección de los metales en la atmósfera**. Madrid: Ed Ediciones Bellaterra S. A., 1982. 246 p., (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas).