

Avaliação dos Impactos da Poluição Atmosférica Correlacionada à Manutenção de Estruturas Utilizadas no Setor Elétrico

S. M. Alberti, LACTEC, G.P. Souza, LACTEC, M. Munaro, LACTEC,
E. D. Kenny, LACTEC, E. Esmanhoto, LACTEC; L.E. Linero, COPEL, L. C. Harttman, COPEL,
J. V. Novaes Junior - LACTEC, G. M. Luz - LACTEC

RESUMO

O presente trabalho vem sendo desenvolvido em parceria com a Companhia Paranaense de Energia - COPEL, tem um período de duração de três anos e, tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta que permita, em um futuro próximo, otimizar procedimentos e minimizar custos de manutenção, advindos de processos de degradação de materiais que compõem redes de distribuição. Foram escolhidos, até o momento, quatro ambientes distintos quanto sua localização, grau de poluição, velocidade e direção de ventos. As medições desses parâmetros são realizadas por meio de estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar e de alguns parâmetros meteorológicos. Em Curitiba estão sendo investigados três locais: a) Bairro de Santa Cândida, mais à norte (considerado menos poluído); b) Cidade Industrial de Curitiba por estar no corredor de predominância de ventos (leste) e estar na interface entre o centro da cidade; e, c) Município de Araucária, região mais industrializada do Estado do Paraná. No Litoral do Estado foi selecionado o Balneário de Grajaú, Município de Pontal do Paraná. Nas estações de Araucária e do Balneário Shangrilá foram instaladas duas redes experimentais de distribuição contendo, em Araucária somente materiais poliméricos e no litoral, ambos, metálicos e poliméricos. A estação do litoral é constituída de três seções que estão instaladas à 100 m, 400 m e 800 m de distância da orla marítima. Esse procedimento tem como objetivo verificar a área de maior influência da salinidade. O período estudado até o momento, setembro de 2001 à setembro de 2002, mostrou que a qualidade do ar de Curitiba pode ser considerada boa, tanto do ponto de vista de qualidade de vida quanto de agressividade à materiais. O parâmetro que, em alguns poucos casos, tem fugido dos padrões de qualidade é o ozônio. O dióxido de enxofre, compostos de nitrogênio, e outros, conforme Resolução CONAMA 03/90, têm se mantido dentro dos limites previstos. No litoral os materiais poliméricos, à 100 m da orla, não suportaram a salinidade além de seis meses. Apresentaram trilhamento, deposição de sal e em alguns caso erosão do material. Estão sob investigação e continuarão até o final do projeto (dois anos mais) os materiais, metálicos e poliméricos, colocados nas redes à 400 m e 800 m da orla. Continuarão, também os estudos em Curitiba e terão início na próxima fase (2002/2003) os ensaios de envelhecimento acelerado e a construção do modelo denominado "Função doseresposta" que resultará na ferramenta de manutenção preditiva prevista. Com o resultado dessa pesquisa vislumbra-se uma economia líquida para a COPEL, da ordem de 30% em materiais.

PALAVRAS-CHAVE

poluição ambiental; corrosão atmosférica; degradação de materiais; modelo econômico

I. INTRODUÇÃO

Experiências passadas têm mostrado que a degradação de diversos materiais, expostos ao ambiente poluído, é problema de grande importância para a humanidade e tem sido levada em consideração em estudos de avaliação de impactos ambientais (MARINI-BERTTOLO, 1986).

A corrosão atmosférica é, talvez, a mais velha e conhecida forma de corrosão. Entretanto, os mecanismos que governam as reações e os fatores que influenciam seus processos foram seriamente estudados, somente após 1920 (DUTRA & VIANNA, 1982). Altas concentrações, por exemplo, de dióxido de enxofre (SO₂) no ar, aceleram a corrosão de aço e zinco (COX & LYON, 1994). A corrosão atmosférica é, basicamente, controlada pela deposição de poluentes sobre o material exposto. O processo de deposição é determinado pela concentração do poluente e a velocidade de deposição. Ambos os parâmetros são influenciados pelas condições atmosféricas, tais como, velocidade e direção dos ventos, perfil de temperatura, umidade relativa, radiação solar e altura da camada de inversão.

A umidade sobre superfícies, causada pela alta umidade relativa do ar ou ainda pela formação de neblina, promove a corrosão de superfícies metálicas e aumenta o fluxo de deposição de gases solúveis, tais como, o dióxido de enxofre (SO₂) e/ou ácido nítrico (HNO₃). 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 das condições ambientais como o balanço de radiação sobre a superfície da velocidade dos ventos. Nos casos de abaixamento da umidade relativa crítica, a corrosão de metais passa a ser governado pelos processos de oxidação (DUTRA & VIANNA, 1982).

Materiais poliméricos têm sido exaustivamente utilizados como sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, tanto em cabos aéreos como em subterrâneos. A ampla utilização de polímeros para essas funções está relacionado às suas excelentes propriedades como isolantes elétricos e as propriedades físicas e químicas que conferem estabilidade e resistência a solvência. Entretanto, atualmente é bastante aceita a teoria de que tais materiais experimentam

o envelhecimento quando sujeitos a situações de "stress" que podem levar a quebras da cadeia polimérica (DISSADO & FOTHERGILL, 1992). A ação combinada de campo elétrico e umidade tem sido vista como um fenômeno catalisador do processo eletroquímico que leva à degradação morfológica de polímeros, produzindo a degradação estrutural e o crescimento de "water trees". Esse fenômeno tem originado intensas pesquisas nas últimas duas décadas (STEENNIS & KRUEGER, 1990; ROSS, 1998).

A corrosão eletroquímica tem sido mencionada como um significativo processo de mudanças morfológicas no XLPE (polietileno de cadeia cruzada) (ROSS, 1998). Recentemente tem sido sugerido que mecanismos de envelhecimento de polietilenos, sujeito a constantes "stress" elétricos alternados (ac), em um meio de alta umidade, envolvem a difusão de espécies iônicas com o aparecimento de cargas localizadas (DAS-GUPTA et al., 1990; DAS-GUPTA & SCARPA, 1996; FOTHERGILL & DISSADO, 1998). É importante mencionar que, para cabos protegidos e acessórios usados em linhas de distribuição aéreas e, para isoladores poliméricos usados em linhas de distribuição, a radiação ultra violeta deve ser levada em consideração como um fator adicional de "stress".

Tem sido registrado que isoladores poliméricos em linhas de transmissão e distribuição oferecem significantes vantagens sobre os de porcelana (MACKEVICH & SHAH, 1997; MACKEVICH & SIMMONS, 1997). Silicone e EPDM têm sido os polímeros mais utilizados para esse propósito. Continuam, entretanto, as dúvidas dos usuários com respeito à performance desses materiais. Para elucidar essas dúvidas, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com relação à sua resistência à intemperismos, hidrofobicidade, resistência à erosão e ao trilhamento, formulação, processos de fabricação e testes de qualidade (MACKEVICH & SIMMONS, 1997). Estudos de resistência às condições ambientais específicas têm sido considerados de grande importância para correlacionar corretamente, envelhecimento e estudos de degradação de materiais poliméricos. A degradação de materiais, sejam eles metálicos, poliméricos ou cerâmicos, devido à deposição ácida e à poluição do ar, atualmente tem sido tratada do ponto de vista econômico e sua importância tem sido medida em dólares (LIPFERT & DAUM, 1992). Para se poder estimar custos associados às questões de degradação de materiais, provenientes da poluição ambiental, é necessário que se tenham informações da distribuição espacial de vários tipos de material, bem como de seus diversos usos. É necessário também, para um método mais real de avaliação do processo de degradação, a utilização da chamada função "dose-resposta" para cada tipo de material exposto e do poluente, dados das variáveis ambientais independentes usadas na função e, dados das conseqüências econômicas proveniente de danos aos materiais. Esta função "dose-resposta" descreve as relações físico-químicas entre a degradação do

material e o poluente ao qual este material está exposto. Estudos e medidas de corrosão atmosférica têm sido desenvolvidas em laboratório e em campo (ASKEY et al., 1993, COX & LYON, 1994). No primeiro caso, têm-se um menor tempo de desenvolvimento, devido à possibilidade de aceleração dos processos de corrosão. Além disso, as condições de testes como a umidade relativa, temperatura, radiação e concentração de poluentes podem ser eficientemente, controlados. Adicionalmente, efeitos multi-parâmetros podem ser eliminados e efeitos sinérgicos entre dois ou mais componentes podem ser investigados.

Experimentos de campo têm sido desenvolvidos em vários países do mundo, com um largo espectro de condições ambientais e de corrosão. Os diferentes programas usados diferem nos seus arranjos experimentais, tamanho e orientação do material exposto, proteção ou não contra as intempéries (principalmente chuvas), perda de peso por corrosão, análises dos produtos de corrosão e diferentes parâmetros ambientais.

Desta múltipla interação entre as condições atmosféricas, concentração de poluentes, processos de deposição e tipos de materiais expostos, surge um modelo capaz de formular uma função dose-resposta adequada e real. Esforços têm sido feitos no sentido de determinar esta função dose-resposta com base em ensaios de laboratório e medidas de campo. Estudos econômicos, fundamentados nos resultados do modelo da função dose-resposta, têm sido desenvolvidos a partir da década de 70 (HEINZ, 1992). Nestes estudos, são mapeados a corrosão atmosférica de torres de linhas de distribuição, bem como, os resultados, em termos econômicos, oriundos da poluição atmosférica.

Na Europa e nos Estados Unidos, já existem trabalhos que utilizam a função dose-resposta para avaliar custos adicionais causados pela corrosão atmosférica. Entretanto, estes modelos não contemplam diferentes níveis de poluição, e tão pouco, contemplam os climas tropicais e subtropicais. Medidas de poluição atmosférica e de parâmetros meteorológicos estão em andamento em algumas regiões do Estado do Paraná (ALBERTI & ESMANHOTO, 1999). Vários estudos de corrosão de estruturas têm sido desenvolvidos para Usinas Geradoras de Energia (GARCIA, KENNY, ESMANHOTO, et al., 1995; GARCIA, PORTELLA, TERNES NETO et al., 1995; GARCIA, PORTELLA, MISURELLI, 1995). O grande número de torres de transmissão e de linhas de distribuição existentes mostra a necessidade de um modelo que possa, com eficácia, demonstrar o comportamento de determinados materiais frente ao meio ambiente ao qual estará exposto. O desafio do trabalho aqui proposto é adaptar estes modelos de função dose-resposta para a realidade brasileira, em especial em algumas regiões do Estado do Paraná e, demonstrar, do ponto de vista econômico, as vantagens do uso desse modelo.

II. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na caracterização da qualidade do ar foi utilizada a configuração que apresenta a figura 1, onde podem ser observadas as Estações de Santa Cândida, Cidade Industrial e Araucária.

A tabela 1 apresenta, conforme Resolução CONAMA 03/90, os resultados para o período de 2001 à 2002, em termos de médias e máximos observados para as três estações que fornecem os dados ao projeto.

No que se refere a qualidade da água de chuva, foram também investigadas as regiões de Araucária e outra próxima à Sta. Cândida (Centro Politécnico da UFPR), com um total de 153 amostra em 12 meses.

A tabela 2 apresenta os resultados mais significativos do período investigado (fev/00 à jan/01).



FIGURA 1 - Configuração da Rede de Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar. Curitiba, PR.

TABELA 1

VALORES MÉDIOS E MÁXIMOS MENSAIS - ESTAÇÃO DE ARAUCÁRIA

2001	SO2	SO2	NO	NO	NO2	NO2	NOx	NOx	O3	O3
-	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
Mes	Med	Max	Med	Max	Med	Max	Med	Max	Med	Max
1	2,8	39,4	2,7	20	7,5	36	10,2	43,1	14,4	84
2	4,4	35,7	3,1	28	8	53	11,1	57,6	12,6	120
3	2,9	60,6	3,3	35	8,5	32	11,7	63,2	11,7	77
4	2,7	32,1	4,7	60	9,2	42	13,9	102	9,5	76
5	2,1	31,2	7,7	156	11,3	83	18,9	239	4,7	57
6	2,4	30,2	10,4	136	13,6	80	24	214	9	44
7	4	90,8	10,3	139	14,1	80	24,3	219	12,2	94
8	4,9	74,7	10,7	132	18,4	105	29,1	219	24	93
9	8,2	73	3,4	25	10,5	52	13,9	77	27,9	78
10	9,1	130	2,7	41	9,5	40	12,2	75	33,1	124
11	14,2	102	2,7	20	8,6	29	11,3	39,5	31,5	149
12	4,9	55	2,7	29	8,8	51	11,5	79,8	26	101
2002	SO2	SO2	NO	NO	NO2	NO2	NOx	NOx	O3	O3
-	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
Mes	Med	Max	Med	Max	Med	Max	Med	Max	Med	Max
1	3,1	49,2	2	16	6,7	38	8,9	54	22,6	129
2	4,8	49,7	3,4	30	9,5	42	13,1	69	21,6	86,6
3	4,7	51	2,5	12,8	9,5	34	10,7	37	19,3	68,1
4	3,1	38,2	-99	-99	-99	-99	-99	-99	18	96,5
5	2,1	36,7	4,7	73,5	18,6	147	13,7	73	13,2	48,1
6	1,5	42,5	7,1	64,6	26,7	150	33,8	215	14,9	71,4
7	2	21,5	5,3	60	15,4	71	20,8	128	13,9	55,6
8	2,1	45,2	6,7	71,3	15,6	76	22,6	144	19,6	83

TABELA 2

VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS PARA O PERÍODO DE 200 À 2001 - ESTAÇÕES DE CURITIBA E ARAUCÁRIA.

200/2001	CURITIBA / Sta Cândida e CIC				ARAUCÁRIA	
Parâmetro	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
pH	5,4	6,6	5,7	6,5		
SO42- (mg/L)	<0,05	7,1	1,8	17		
Cl- (mg/L)	<0,05	5,8	0,21	2,7		

Esses valores de qualidade de ar e de concentração de íons sulfato e cloreto na água de chuva caracterizam o ambiente como pouco agressivo aos materiais metálicos e poliméricos sob teste nessa região. Essa afirmação está em acordo com os estudos realizados pelos métodos ABNT NBR 6211, para cloretos e, ABNT NBR 6921, para sulfatos, medidos no período de 2001 à 2002 nas mesmas regiões. A Figura 2 apresenta os resultados para esses íons em Curitiba e Araucária.

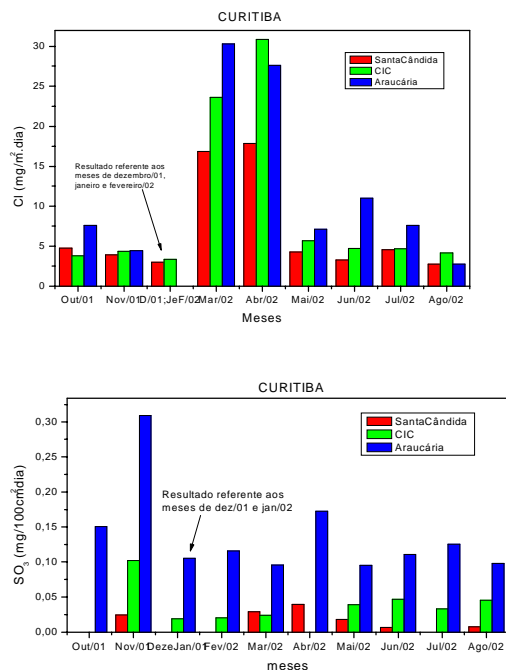


FIGURA 2 - Valores para a) Cloretos (ABNT NBR 6211) e b) sulfatos (ABNT NBR 6921).

Dessa forma, quando classificada a corrosividade do ambiente, ou seja a agressividade atmosférica sobre metais e ligas metálicas baseada nos dados atmosféricos, conforme norma ISSO 9223:1992, as categorias de corrosividade são apresentadas em função do teor de poluentes e do tempo de superfície úmida. Nesse caso, as regiões podem ser classificadas com relação à corrosividade como:

- Estação Santa Cândida: C2 - corrosividade baixa;
- Estação CIC: C2 - corrosividade baixa;
- Estação Araucária: C3 - corrosividade média.

Quanto às Estações do Litoral do Paraná - Balneário Shangrilá, em Pontal do Paraná, nas faixas de 100m, 400m e 800m de distância da orla marítima foram obtidos os seguintes resultados de valores médios para as concentrações de cloretos e sulfatos às três distâncias e que estão representadas na Figura 3 (a) para cloretos e 3(b) para sulfatos.

Com base nos resultados obtidos durante um ano de amostragem classifica-se a estação do Litoral como ambiente urbano-marinho de elevada agressividade. As categorias de agressividade atmosférica sobre metais à diferentes distâncias da orla marítima, baseadas na análise de poluentes e de tempo de superfície úmida conforme norma ISSO 9223, são apresentadas na tabela 3, a seguir.

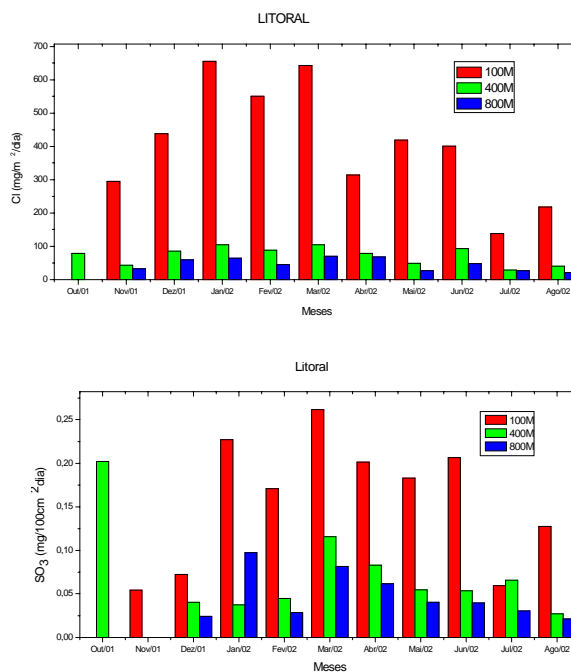


FIGURA 3 - Valores Médios para as Concentrações de Cloretos e Sulfatos às Três Distâncias

TABELA 3
AGRESSIVIDADE ATMOSFÉRICA ISSO 9223:1992

MATERIAL	100 m	400 m	800 m
Aço-carbono	C5	C4	C4
Zinco/ Cobre	C5	C4	C3
Alumínio	C5	C5	C4

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

Para os estudos de Materiais Poliméricos, foram instalados 4 trechos similares de rede de distribuição de energia elétrica protegida, com aplicação de materiais disponíveis no mercado em condições ambientais diferenciadas, que estão sendo avaliada por métodos padronizados de monitoração ambiental. Os locais escolhidos para este projeto foram o litoral do Estado do Paraná a 100m, 400m e 800m da orla marítima e uma em região industrial

Em função dos resultados de poluentes e da agressividade do meios estudados os materiais polimérico apresentaram baixo desempenho na orla marítima, mais especificamente à 100 m da orla marítima. As Figuras 4 (a), (b), e (c) mostram alguns dos resultados, após 6 (seis) meses de exposição desse materiais.



(a) Ponto de Amarração do Cabo ao Espaçador com Anel Apresentando Acúmulo de Sal e Início de Trilhamento.



(b) *Laço de Amarração Apresentando Trilhamento Elétrico nas Regiões de Contato com o Cabo.*



(c) *Espaçador Apresentando Ponto de Trilhamento Elétrico na Superfície.*

FIGURA 4 - Resultados após 6 meses de exposição

Para as concentrações de poluentes e/ou salinidade observada neste estudo a 100 m da orla marítima, os quais foram considerados elevados, a rede protegida com a configuração atual é totalmente desaconselhada, para substituição da rede convencional. No entanto alguns estudos podem ser realizados propondo um remodelamento de alguns itens da rede que podem adaptar este sistema a para situações com grandes concentrações de poluentes.

III. CONCLUSÃO

Considerando-se os objetivos da primeira fase do trabalho, que encontra-se aqui transcrita:

"Primeira Fase: Implantação da rede de monitoramento automática da qualidade do ar em Curitiba (região urbana - Bairro de Santa Cândida), região metropolitana (região industrial - Cidade Industrial de Curitiba e Araucária) e, em uma região do litoral paranaenses (Grajaú - Pontal do Paraná - PR), juntamente com os painéis de exposições dos corpos de prova dos materiais que compõem as linhas de distribuição convencionais e à cabos protegidos. Os Parâmetros medidos serão, SO₂, NO, NO₂, NO_x, O₃, THC, MPTS e parâmetros meteorológicos, direção e velocidade de vento, radiação global e UV, temperatura, umidade, pressão e de amostras de chuva. Serão também utilizados, para efeito de comparação, os sistemas gravimétricos tradicionais de medições para sulfatos (SO₄) e Cloretos, que foram empregados no passado para avaliação do potencial corrosivo de algumas regiões do Estado o Paraná, inclusive as aqui mencionadas." é possível concluir que foram cumpridas todas as etapas prevista, Istoé:

- As estações de monitoramento da qualidade do ar foram implantadas;
- Os parâmetros de poluição e meteorológicos encontram-se contemplados nos estudos;
- foi realizado monitoramento da qualidade da água de chuva por um período de um ano, resultando em dissertação de mestrado;

- Foram instalados os painéis contendo materiais metálicos para estudo de intemperismo natural;
- Foram instaladas 2 (duas) linhas experimentais de distribuição para estudos dos materiais sob multi-stress;
- Segundo o monitoramento da qualidade do ar em Curitiba, via estação automática e coleta manual de cloretos e sulfatos, a agressividade das regiões, para o caso de materiais metálicos, são classificadas de forma similar:
 - Estação Santa Cândida: corrosividade baixa;
 - Estação Cidade Industrial - CIC: corrosividade baixa;
 - Estação Araucária: corrosividade média;

A estação do litoral classifica o ambiente conforme a distância da orla marítima e apresenta os mesmos resultados tanto para materiais metálicos quanto para a rede protegida, isso é:

- A 100 m da orla: altamente corrosiva para aço-carbono, liga de zinco e cobre e alumínio; é classificada também como fortemente corrosiva para o tipo de cabo protegido instalado, que apresentou problemas de trilhamento, erosão e forte deposição de sal;
- A 400 m da orla: apresenta corrosividade alta para aço-carbono e ligas de zinco-cobre, porém altamente corrosiva para alumínio; para os cabos protegidos não foram observadas alterações no período de 6 (seis) meses;
- A 800 m da orla: apresenta-se como alta para aço-carbono e alumínio e média para o cobre; para os cabos protegidos não foram observadas alterações no período de 6 (seis) meses.

Outra conclusão importante e ainda nova no Brasil é a impossibilidade do uso de cabos protegidos em ambientes marinhos muito próximos da orla marítima.

Em função do péssimo desempenho dos cabos protegidos e levando em consideração a questão segurança, a COPEL decidiu desativar a linha experimental à 100 m da orla marítima, para o período que imediatamente antecede à época de veraneio.

A base de dados está ainda em formação, porém, com os resultados obtidos nessa primeira fase, já é possível dar início à elaboração do modelo Dose-Resposta, proposto para a segunda fase do trabalho.

IV. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Paranaense de Energia - COPEL DIS; ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC; à Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, pelo apoio recebido, confiança depositada, liberação de recursos financeiros e disponibilização da infra-estrutura, para a realização e finalização deste projeto de pesquisa; e a todos aqueles profissionais que, de forma direta e indireta, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALBERTI, S. M., ESMANHOTO, E.; Monitoramento da Qualidade do Ar de Curitiba e Região Metropolitana, LACTEC, Curitiba, 1999, 26 pág.
- [2] COX, A., LYON, S. B.; Na Electrochemical Study of the Atmospheric Corrosion of Mild Steel III. The Effect of Sulfur Dioxide. *Corrosion Science*, 36, No. 7, 1193 - 1199, 1994.
- [3] DAS-GUPTA, D. K., SVATIK, A., BULINSKI, A. T., DENSLEY, R. J., BAMJI, S., CARLSSON, D. J.; On the Nature of ac Field Aging of Cross-linked Polyethylene Using Liquid Electrodes, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 23, 1599 - 1607, 1990.
- [4] DAS-GUPTA, D. K., SCARPA, P. C. N.; Polarization and Dielectric behavior of ac-aged Polyethylene. *IEEE Trans. Diel. El. Ins.* 3, No. 3, 366 - 374, 1996.
- [5] DISSADO, L. A., FOTHERGILL, J. C.; Electrical Degradation of Polymers. The Redwood Press, Wiltshire, England, 1992.
- [6] DUTRA, A. C., VIANNA, R.; Atmospheric Corrosion Testing in Brazil, In: ALILOR, W. H., (ed): Atmospheric Corrosion, New York, London, 1982.
- [7] FOTHERGILL, J. F., DISSADO, L. A.; Space Charges in Solid Dielectrics. The Dielectric Society, Leicester, UK, 1998.
- [8] GARCIA, C. M., KENNY, E. D., ESMANHOTO, E. J., et al., Inspeção quanto à corrosão e degradação de equipamentos e instalações das pequenas centrais hidrelétricas. COPEL/LAC, RELATÓRIO 027/1995. 201p.
- [9] GARCIA, C.M., PORTELLA, K. F., TERNES NETO, H. J., et al., Inspeção quanto à corrosão e degradação de equipamentos e instalações da usina hidroelétrica Pitangui. Cap. II.9.
- [10] GARCIA, C. M., KENNY, E. D., ESMANHOTO, E. J., et al., Inspeção quanto à corrosão e degradação de equipamentos e instalações das pequenas centrais hidrelétricas. COPEL/LAC, RELATÓRIO 027/1995. 201p.
- [11] GARCIA, C.M., PORTELLA, K. F., MISURELLI JR., J. C. E., ESMANHOTO, E. J.; Inspeção quanto à corrosão e degradação de equipamentos e instalações da usina hidroelétrica São Jorge. Cap. II.10, in:
- [12] GARCIA, C. M., KENNY, E. D., ESMANHOTO, E. J., et al., Inspeção quanto à corrosão e degradação de equipamentos e instalações das pequenas centrais hidrelétricas. COPEL/LAC, RELATÓRIO 027/1995. 201p.
- [13] GLOSMORD, S., GODAL, °, HENRIKSEN, J.F., HAAGENRUD, S. E., SKANCKE, T.; Corrosion Costs in Norway, Workshop on Economic Evaluation of Benefits from Air Pollution Abatement connected to Damage to Buildings including Cultural Heritage, 1996).
- [14] HEINZ, I.; Volkswirtschaftliche Kostendruck Luftverunreinigungen. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Dortmund, 1980.
- [15] LIPFERT, F. W., DAUM, M. L.; The Distribution of Common Construction Materials at Risk to Acid Deposition in the United States. *Atmospheric Environment*, 28B, No. 2, 217 - 226, 1992.
- [16] MACKEVICH, J., SHAH, M.; Polymer Outdoor Insulating Materials - Part I: Comparison of Porcelain and Polymer Electrical Insulation, *IEEE EI. Ins. Mag.* 13, No. 3, 5 -12, 1997.
- [17] MACKEVICH, J., SIMMONS, S.; Polymer Outdoor Insulating Materials - Part II: Material Considerations, *IEEE EI. Ins. Mag.* 13, No. 4, 10 -16, 1997.
- [18] MARINI-BERTOLO, G.B.; Chemical Events in the Atmosphere and Their Impact on the Environment, Elsevier Science Publishing Company, New York, 1986.
- [19] STEENNIS, E. F., KRUEGER, F. H.; Water Treeing in Polyethylene Cables, *IEEE Trans. El. Ins.* 25, No. 5, 989 - 1028, 1990.
- [20] ROSS, R.; Inception and Propagation Mechanisms of Water Treeing, *IEEE Trans. Diel. El. Ins.* 5, No. 5, 660 - 680, 1998.