

Copyright 2014, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2014, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2014.

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

## **Uso de técnicas eletroquímicas no diagnóstico corrosivo das grelhas de torres instaladas em solos de Imperatriz e Rondonópolis**

José M. Silva<sup>a</sup>, Fernando S. C. Azevedo<sup>b</sup>, Torricelli S. Gomes<sup>c</sup>, Renato A. Oliveira<sup>d</sup>, Djalma R. Garcia<sup>e</sup>, Wilson S. Malheiros<sup>f</sup>, Francisco F. S. Neto<sup>g</sup>

### **Abstract**

The corrosion Transmission line buried metallic grid, represents significant costs for the Brazilian electric section. It has been observed that the electric maintenance professionals are not familiarized with these problems. The need aggressiveness evaluation of soils has been taking to the study measures direct, such as the mass loss, even so, is procedure slowly. Researchers look for measures indirect, development that correlate, soils properties with absolute corrosivity. In this work has been physical-chemistries and electrochemistry studied. Those techniques were used In-Situ and in laboratory. During the field works, it was made her the collection soils samples and then it was repeated laboratory techniques, in carbon steel immersed in the soils. Electrochemistry result was compared, with mass loss result. It was classified the aggressiveness soils samples studied in laboratory. In this work intends a qualitative approach to evaluate soils aggressiveness through the current injected in field work.

**Keywords:** underground corrosion, electrochemistry technique, current injected.

### **Resumo**

A corrosão de gelhas metálicas enterradas pertencente às linhas de transmissão de energia elétrica, representa custos significativos para o setor elétrico brasileiro. Somando-se a isso, tem sido observado que os profissionais de manutenção elétrica não estão familiarizados com esse tipo de problema. A necessidade de avaliação da agressividade de solos tem levado ao estudo de medidas diretas, tais como a perda de massa (processo consagrado), porém este procedimento é lento. Por isso, pesquisadores buscam o desenvolvimento de medidas indiretas que correlacionam as propriedades dos solos com sua corrosividade absoluta. Neste trabalho foram realizadas medidas físico-químicas e eletroquímicas. Essas técnicas foram usadas In-Situ e em laboratório. Durante os trabalhos de campo, fez-se a coleta de amostras de solos e então repetiu-se o uso dessas técnicas em laboratório, em uma pequena chapa de aço carbono imerso nos solos coletados. Em laboratório, fez-se ensaios físicos-químicos para as diferentes amostras de solos. Os resultados obtidos foram comparados entre as diversas técnicas utilizadas. Em campo, comparou-se resultados eletroquímicos, com resultado de perda de massa. A partir da análise realizada propõe-se um critério qualitativo para avaliar o comportamento corrosivo das torres estudadas por intermédio da intensidade de corrente injetada.

**Palavras-chave:** Corrosão pelo solo, Técnicas eletroquímicas, Injeção de corrente

<sup>a</sup>Dr, Químico – LACTEC <sup>b</sup>Engenheiro Químico – ELETRONORTE <sup>c</sup>Engenheiro Eletricista – ELETRONORTE  
<sup>d</sup>Engenheiro Eletricista – ELETRONORTE <sup>e</sup>Engenheiro Eletricista – ELETRONORTE <sup>f</sup>Engenheiro Eletricista – ELETRONORTE <sup>g</sup>Técnico Eletricista - ELETRONORTE

---

## Introdução

---

O critério usado para estabelecer o potencial de proteção em estruturas enterradas tem sido feito através de considerações acadêmicas (1) e por intermédio de testes empíricos. Ao fazer a caracterização eletroquímica da reação anódica de oxidação do ferro, verifica-se que o potencial reversível ou potencial de equilíbrio do Fe(0)/Fe(II) pode ser estabelecido como sendo um valor próximo de -800 mV vs Eletrodo de Calomelano Normal (1).

Em 1983, a NACE criou a RP0169 (2) “Controle da Corrosão pelo Solo em Tubulações Metálicas”, onde estabelece o potencial de proteção como sendo o valor de -850mV em relação ao eletrodo de calomelano saturado.

A técnica do decaimento dos 100 mV ou técnica de interrupção da corrente (3) para determinar o potencial de proteção, baseia-se em interromper a corrente circulante e medir o potencial logo no instante em que o valor começa variar lentamente em função do tempo e este potencial é tido como potencial em condições de circuito aberto. Essa técnica leva em conta que a representação da interface Metal/solo pode ser representado pelo circuito equivalente de Randle proposto em 1947. Este modelo é representado por uma resistência do meio corrosivo em série com um circuito RC, onde “R” está relacionado com a resistência de polarização em paralelo com “C” referente a um capacitor representado pela dupla camada. Assim a queda de potencial sobre a resistência do meio corrosivo desaparece instantaneamente quando a corrente é interrompida. Quando a corrente é pequena, a queda de potencial através da resistência de polarização e através da capacitância da dupla camada são iguais, pois eles estão em paralelos. Deste modo, quando se interrompe a corrente, a variação de potencial na interface, não desaparece instantaneamente, mas por um decaimento lento, devido a constante de tempo existente entre a resistência de polarização e a capacitância da dupla camada. Em 1992, a NACE fez uma revisão da RP0169, introduzindo o efeito de Queda Ohmica e padronizou o valor de 100mV mais negativo que o potencial de corrosão, para o estabelecimento de uma estrutura metálica totalmente protegida pelo sistema de proteção catódica, em condições de circuito aberto.

---

## Metodologia

---

Para a caracterização físico-química do solo, utilizou-se de três a cinco quilos de solo deformado. Este solo foi seco em estufa por 12 horas, destorroado e peneirado até a peneira 2 mm. Após esta etapa foram realizados os seguintes ensaios físico-químicos:

- Determinação da resistividade com o aumento de água no solo;
- Determinação da capacidade de retenção de água;
- Determinação da umidade do solo;
- Determinação do potencial redox;
- Determinação do pH do solo saturado com água;
- Determinação do potencial de repouso;
- Determinação da sobretensão do hidrogênio;

Com objetivo de obter a corrente necessária para uma estrutura enterrada estar protegida, aplicou-se a técnica de injeção de corrente, conforme mostra a Figura 1.

Para a aplicação da técnica de injeção de corrente utilizou-se uma torre como célula de três eletrodos (vide Fig.1). A montagem clássica, deste tipo de célula, consistiu em um eletrodo de trabalho “pé da torre” (amostra a ser analisada), um contra-eletrodo “eletrodos de cobre temporários” e um eletrodo de referência “cobre sulfato de cobre saturado”.

Pelo voltímetro contendo saída USB juntamente com o notebook (vide Fig.1) foram monitorados respectivamente os potenciais de saída da torre e pelo equipamento foi injetada a corrente circulante na torre. Inicialmente, o processo consistiu basicamente em monitorar a evolução (ou regressão) espontânea do potencial de repouso ( $E_{rep}$ ) da torre em relação ao eletrodo de referência em função do tempo ( $E_{rep} \times \text{tempo}$ ). Usou-se como tempo de estabilização, os valores de potenciais obtidos após 30 segundos. Após o tempo de estabilização, iniciou-se a construção de uma curva de polarização linear no sentido catódico variando-se, em incrementos negativos, o potencial entre a torre e o eletrodo de referência. A densidade de corrente correspondente a cada um destes incrementos foi aplicada pelo equipamento, após um tempo de estabilização pré-determinado (próximo de um minuto). Esse processo foi denominado de construção da curva de potencial em condições de circuito fechado (Eon).

Juntamente com a curva de potenciais “Eon” foi construída a curva potenciodinâmica em condições de circuito aberto (Eoff). Para obtenção do potencial “off” fez-se interrupção da corrente injetada. Com a interrupção da corrente, o “Eon” cai abruptamente para um determinado valor e logo após essa queda de potencial, o processo de diminuição do potencial é lento. O segredo está em obter o início dessa queda lenta de potencial. Na prática, o valor lido é feito baseando-se na leitura feita imediatamente ao desligar o equipamento. Para cada incremento no valor da corrente mediu-se o potencial  $E_{off}$ . Para cada potencial aplicado, espera-se que o potencial “on” fique estabilizado (o tempo de estabilização é por volta de um minuto no potencial “Eon”). Após este tempo o circuito é interrompido (pela rotina computacional embutida no equipamento), anotando o potencial “Eoff”. Após anotado o “Eoff” o equipamento é ligado automaticamente (30 segundo após ter sido desligado). Para o restabelecimento da estabilidade do potencial em condições de circuito fechado o equipamento espera-se em torno de um minuto para desligá-lo novamente. Este processo é repetido 7 vezes para injetar 7 valores diferentes de correntes.



**Figura 1: Aplicação da técnica injeção de corrente em uma torre de linha de transmissão.**

Com objetivo de comparar os resultados de correntes necessárias para que uma torre fique protegida com a taxa de corrosão em amostras expostas em torres, determinou-se a perda de massa. Os corpos de provas (CPs) foram devidamente cortados, identificados por punção mecânica, desengraxados com solvente (acetona), limpos, pesados, e tiveram sua área determinada conforme a norma ABNT NBR 6210. Os (CPs) de aço carbono foram feitos em duplicatas, sendo que uma amostra ficou em um dessecador para ser limpo

juntamente com a amostra vinda do campo. Este procedimento teve como objetivo evitar possíveis erros advindos do processo de decapagem, antes e após realização da exposição do cupom metálico. Após exposição nas torres, o material de base foi, novamente, restabelecido pela limpeza adequada dos seus produtos de corrosão. Tal procedimento foi feito por processos mecânicos e químicos. Após a sua limpeza e verificado que os materiais apresentavam corrosão uniforme, foram novamente pesados, a fim de determinar a perda de massa e a taxa de corrosão.

## Resultados e discussão

As curvas de resistividade com a quantidade de água foram feitas conforme Figuras 2 e 3. O valor da Resistividade mínima encontrada para o solo da torre 127 da LT IZ-PD foi próximo de  $100 \Omega \text{ m}$  (vide Fig.2). O valor da Resistividade mínima encontrada para o solo da torre 79 da LT IZ-PD foi próximo de  $200 \Omega \text{ m}$  e o valor da Resistividade mínima encontrada para o solo da torre 102 da LT IZ-PD foi próximo de  $300 \Omega \text{ m}$ . A partir dos valores de resistividade mínima concluí-se que o solo da torre 127 é mais agressivo que o da torre 79 e o solo da torre 79 é mais agressivo que o da torre 102. Estes solos podem ser classificados de acordo com a literatura (4), de tal forma que, o solo da torre 102 é pouco agressivo e os solos das outras duas torres podem ser classificados como solos de média agressividade.

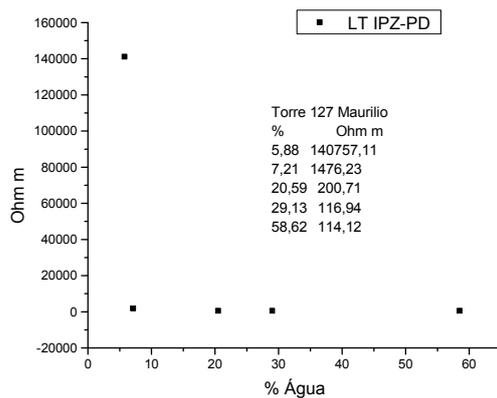


Figura 2: Resistividade em função da quantidade de água para a torre 127 da LT IZ-PD.

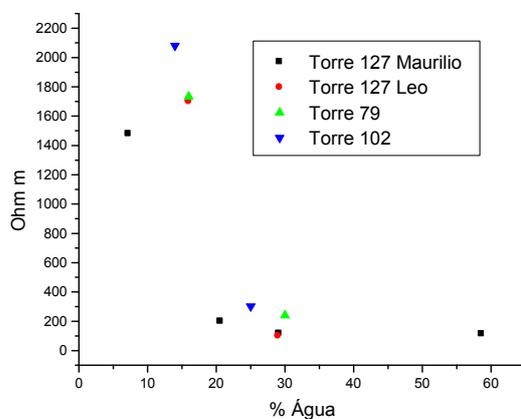


Figura 3: Resistividade em função da quantidade de água para algumas torres da LT IZ-PD.

Os valores da capacidade de retenção de água dos solos ensaiados estiveram próximos de 15 %. A partir desta porcentagem, pode-se obter a resistividade verdadeira do solo em estudo. O valor da resistividade no ponto de retenção de água foi de 2 300  $\Omega$  m, e portanto, este solo, pode ser considerado pouco agressivo com base no parâmetro capacidade de retenção de água. Os resultados físico-químicos do solo da torre 127 podem ser vistos na Tabela 1:

**Tabela 1 – Resultados físico-químicos da torre 127 (5)**

Parâmetros	Resultados
Resistividade mínima ( $\Omega$ m)	100
C.R.H <sub>2</sub> O (%)	15
Umidade natural (%)	19
E <sub>redox</sub> (mV)	218
pH	5,5
E <sub>repouso</sub> (mV)	-770
STH <sub>2</sub> (mV)	-120

Após realização dos ensaios de laboratório e construção da Tabela 1, foi possível fazer uma análise da agressividade dos solos baseada nos critérios existentes na literatura (Trabanelli e/ou Steinrath (6); Starkey & White (7); Booth (8); Sobretenção do H<sub>2</sub> (9), Stratfull (10) e Dpto. Transp. USA ). O resumo dos resultados está demonstrado na Tabelas 2 onde o solo foi classificado como solo **pouco agressivo**.

**Tabela 2 – Resumo dos resultados físico-químicos e classificação do solo da torre 127 pelos critérios de literatura (5-11).**

PARÂMETROS		Torre 127 LT IZ-PD	
		Valor obtido	Índice de classificação
Trabanelli e/ou Steinrath	Resist.mín.(-2).	100 $\Omega$ .m	Índice = -2 solo pouco agressivo
	Cloreto (0)	<100 mg/Kg	
	Potencial redox (0)	218 (mV/NHE)	
	Sulfato (0)	<40 mg/Kg	
	pH (0)	5,5	
	Umidade (0)	19 %	
Starkey & White	Potencial redox	218 (mV/NHE)	<300 bactérias no solo é provável

PARÂMETROS		Torre 127 LT IZ-PD	
		Valor obtido	Índice de classificação
Booth	Resist.mín.	100 $\Omega$ .m	Pouco Agressivo
	Potencial redox no pH=7	218 (mV/NHE)	
	Teor de água	19 %	
Sobretensão do H <sub>2</sub>	$\eta_{H_2 t=30}$ Aço	-120 mV	Pouco agressivo
Stratfull	Resistividade mínima	100 $\Omega$ .m	50 $\mu$ m/ ano
	pH	5,5	
Dpto. Transp. USA	Resistividade mínima	100 $\Omega$ .m	40 anos de vida
	pH	5,5	
<b>CLASSIFICAÇÃO FINAL</b>		<b>POUCO AGRESSIVO</b>	

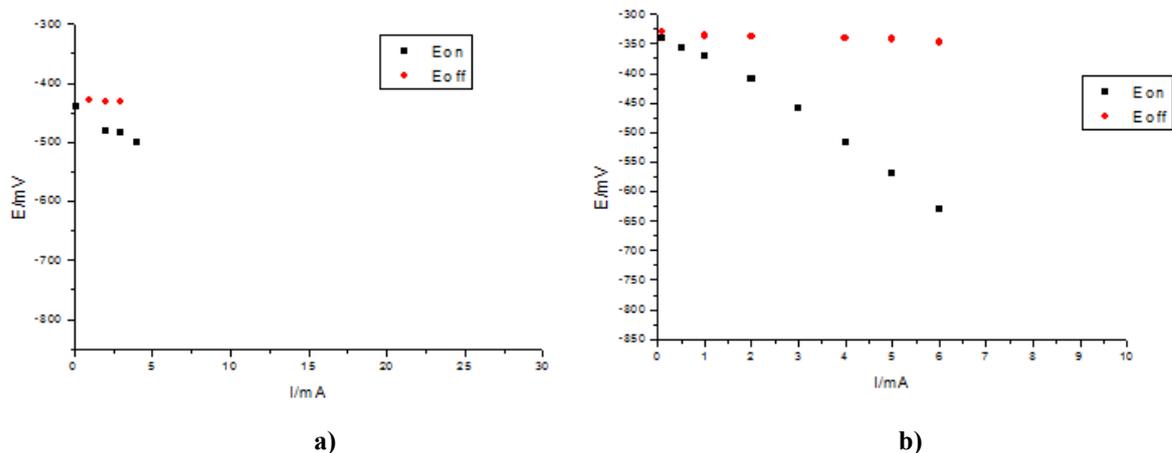


Figura 4: Injeção de corrente: a) na torre 127 e b) na torre 102 da LT 500 kV IZ-PD.

A Fig. 4 mostra os resultados da aplicação da técnica de injeção de corrente nas torres 127 e 102 da LT 500 kV IZ-PD. Por essa Figura, pode-se determinar a corrente necessária para que essas torres estejam imunes ou no máximo de diminuição do processo corrosivo, ao fazer a extrapolação das curvas presentes na Figura 4. Pela Figura “4a” é possível obter uma corrente de 68 mA para as condições da curva relacionada com as condições de circuito aberto ( $I_p$ ) e é possível obter uma corrente de 27 mA para as condições de circuito fechado  $I_p^{IR}$ , perfazendo um valor médio de corrente da ordem de 50 mA “ $I_p$ (medio)”. Raciocínio similar pode ser feito para a Figura “4b” e obter as correntes de 49 mA e 11 mA respectivamente, perfazendo um valor médio de corrente da ordem de 30 mA.

Com objetivo de correlacionar valores de correntes com a taxa de corrosão, instalou-se corpos de provas de aço ( $d=7,87 \text{ g/cm}^3$ ) ou cupons metálicos de  $60 \text{ cm}^2$  de área, conforme Tabela 3. As amostras foram instaladas conforme mostra a Figura 5.

Tabela 3 – Corpos de prova instalados nas torres 7/2 e 6/3 da LT Joairam-Bonji

<b>Torre 7/2 sem proteção catódica</b>				
Amostra - nº	Massa (g)			tempo (h)
	inicial	final	diferença	
1	28,440	27,900	0,540	1440
2	28,806	27,957	0,848	2160
3	30,017	28,253	1,764	2880
4	28,841	26,585	2,255	3600
<b>Torre 6/3 com proteção catódica</b>				
Amostra - nº	Massa (g)			tempo (h)
	inicial	final	diferença	
5	30,069	29,898	0,170	1440
6	31,578	31,229	0,349	2160
7	29,682	28,906	0,776	2880
8	29,170	28,179	0,992	3600

Figura 5: Corpos de prova de aço carbono e aço galvanizado instalados nas torres 51 e 52 da LT IAIV-2



Inspeções realizadas nos cupons metálicos instalados (vide Figura 6) mostram que na torre sem proteção catódica há uma elevada corrosão, enquanto que os cupons instalados na torre protegida houve um leve início de corrosão. Esses cupons metálicos estiveram durante alguns meses (vide Tabela 3) em exposição (1 ano = 8 760 horas). Fez-se perda de massa para os cupons de aço mostrados na Figura 6. A massa inicial do cupom 1 era de 28,440 gramas. A massa final desse cupom 1 foi de 27,900 gramas. A perda de massa desse cupom 1 foi de 540 miligramas. A taxa de corrosão encontrada para esse cupom 1 foi de 70  $\mu\text{m}/\text{ano}$ . A massa inicial do cupom 5 era de 30,069 gramas. A massa final desse cupom 5 foi de 29,898 gramas. A perda de massa desse cupom 5 foi de 171 miligramas. A taxa de corrosão encontrada para esse cupom 5 foi de 22  $\mu\text{m}/\text{ano}$ . O cupom 1 apresentou corrosão mais acentuada que o cupom 5. Isto é, o cupom da torre 7/2 (torre sem proteção) está 3 vezes mais corroído que o cupom

instalado na torre 6/3 (torre com proteção catódica). Isto mostra que a proteção catódica realizada na torre 6/3 vai triplicar a vida útil daquela torre. Este comportamento foi similar para um cupom instalado por volta de 3 anos ou 23 280 horas (vide Fig.7) na torre 52 da LT IAIV-2. A taxa de corrosão encontrada para esse cupom foi de 107  $\mu\text{m}/\text{ano}$ . Foi coletado solo na Torre 51 (vizinha à torre 52). Os parâmetros de laboratórios foram: 100  $\Omega\text{ m}$  para a resistividade mínima, 35 % para a capacidade de retenção de água, 30% para umidade natural, 390 mV para o potencial redox, pH=6, potencial de repouso próximo de - 500 mV e - 150 mV para a sobretensão de hidrogênio. Portanto esse solo pode ser considerado como de média agressividade pelos critérios de literatura.

As curvas potenciodinâmicas catódicas obtidas na torre 51, antes dessa torre receber proteção catódica estão mostradas na Fig.8.

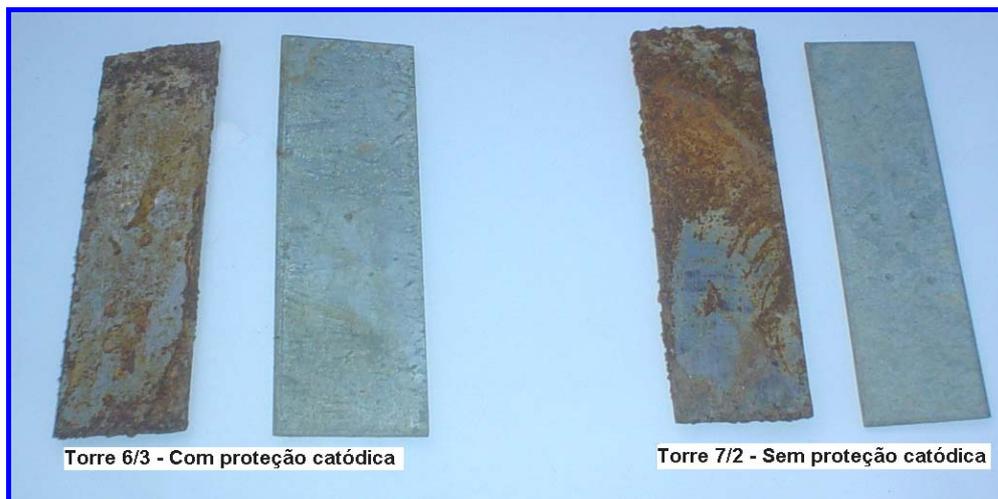


Figura 6: Corpos de prova de aço carbono e aço galvanizado instalados nas torres 6/3 e 7/2 LT Bonji

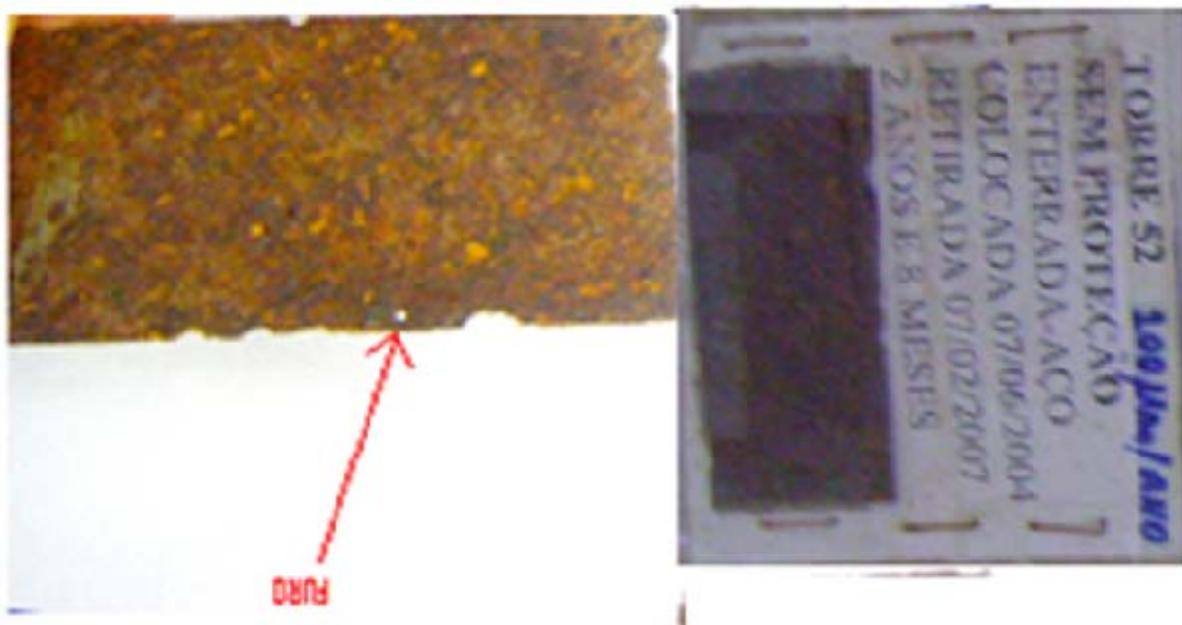
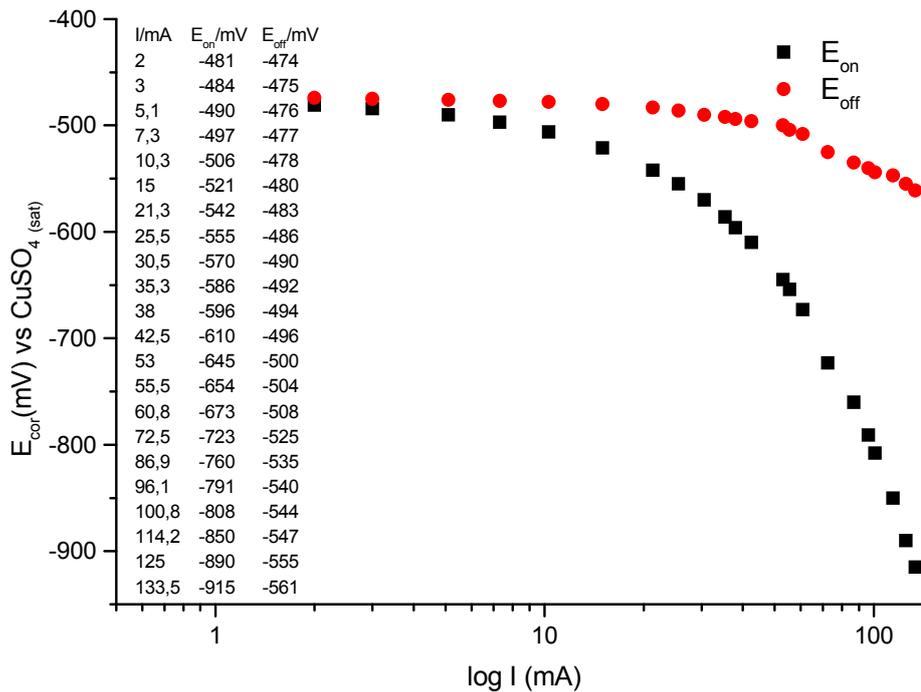


Figura 7: Corpos de prova de aço carbono instalado na torre 52 da LT IAIV-2 (3 anos de exposição)



**Figura 8: Injeção de corrente na torre 51 da LT IAIV-2**

Como pode ser visto na Fig.8 é possível obter uma corrente de 130 mA para as condições da curva relacionada com as condições de circuito aberto ( $I_p$ ) e é possível obter uma corrente de 110 mA para as condições de circuito fechado  $I_p^{IR}$ , perfazendo um valor médio de corrente da ordem de 120 mA “ $I_p(\text{medio})$ ”.

A partir dos resultados obtidos das Figuras 6, 7 e 8, pode-se concluir que uma torre com  $I_p$  maior que 100 mA apresenta uma corrosão maior que 100  $\mu\text{m}/\text{ano}$ .

Tendo em conta que se usa o valor de 25  $\mu\text{m}/\text{ano}$  como valor a ser garantido durante uma instalação de proteção catódica em estruturas enterradas. Tendo em conta os critérios de corrosão apresentados nas normas ABNT NBR 16 254 -1 e IEEE 2002. Tendo em conta os parâmetros acima mencionados, como ferramenta e confrontando os valores de corrente injetada com a intensidade de corrosão (medida pela técnica de perda de massa), é observado uma significativa relação entre esses parâmetros. O que faz respaldar um adequado critério proposto conforme mostrado na Tabela 4.

Ao aplicar a técnica de injeção de corrente nas torres de uma linha de transmissão em Rondonópolis, obteve-se a corrente necessária para que a torre ficasse protegida ora pelo critério envolvendo o circuito aberto ( $I_p$ ), ora quando o critério envolve as condições de circuito fechado  $I_p^{IR}$  e ora determinando o valor médio  $I_p(\text{medio})$  (vide Fig.9).

Tabela 4 – Critério proposto para classificar o solos com base na técnica de injeção de corrente em torres

$I/mA$	$\rho_{\text{mínima}}/(\Omega m)$	Estrutura enterrada
< 25	> 1 000	pouco corroída (<25 $\mu m/ano$ )
25 a 100	250 a 1 000	Corroída com provável perda de material base (25 a 100) $\mu m/ano$
>100	<250	Corroída com bastante perda de material base (>100 $\mu m/ano$ )

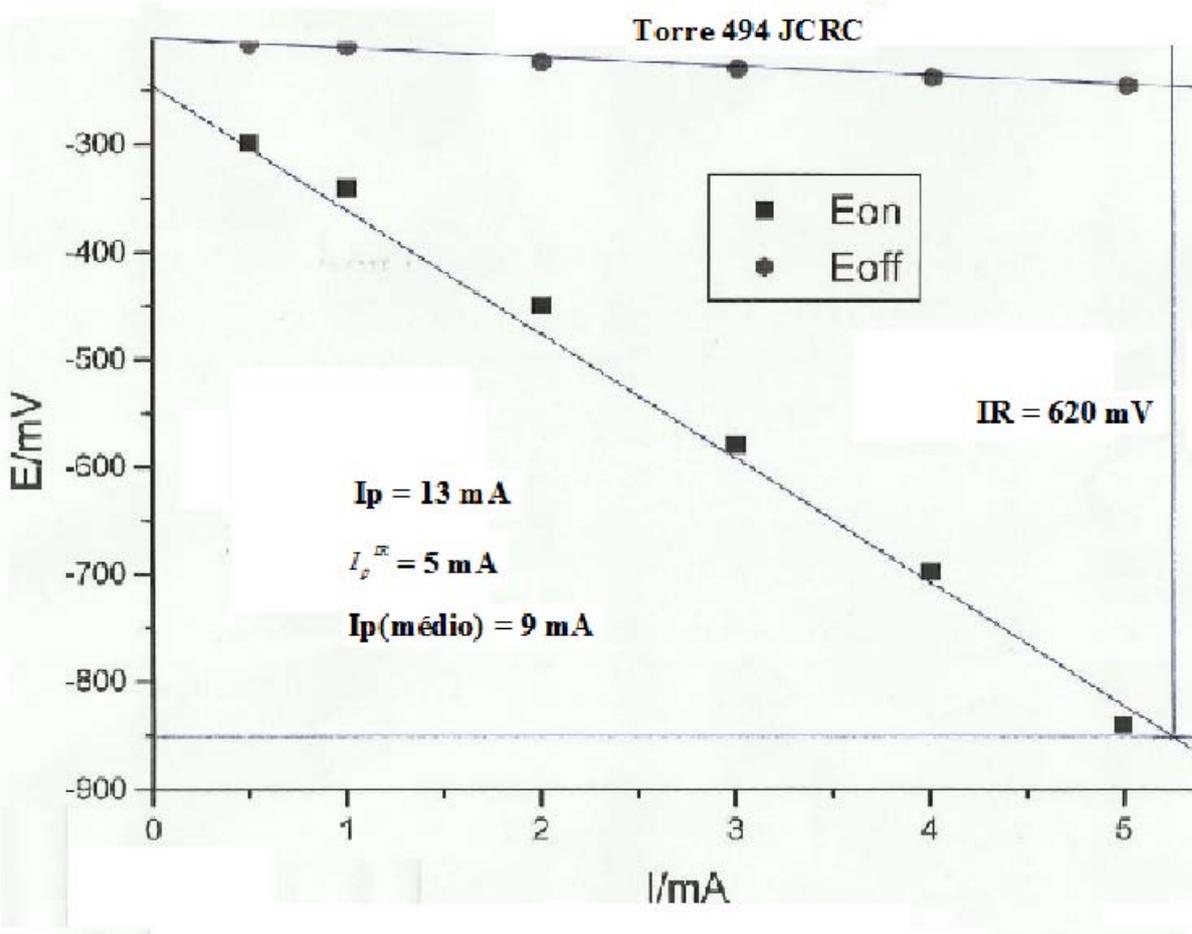


Figura 9: Injeção de corrente na torre 494 da LT JCRC

Como pode ser visto na Fig.9, obteve-se  $I_p = 13 \text{ mA}$ ,  $I_p^{IR} = 5 \text{ mA}$  e  $i_p(\text{médio}) = 9 \text{ mA}$ . De acordo com a Tabela 4 essa torre enquadra-se como torre pouco corroída, pois as correntes estão menores que 25 mA.

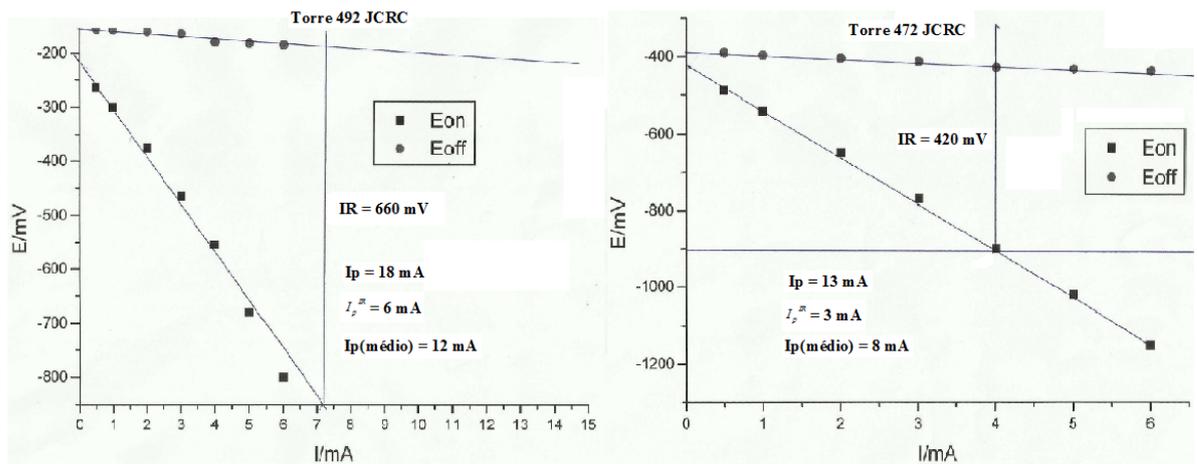


Figura 10: Injeção de corrente nas torres 492 e 472 da LT JCRC

Como pode ser visto na Fig.10, obteve-se  $I_p = 18 \text{ mA}$ ,  $I_p^{IR} = 6 \text{ mA}$  e  $i_p(\text{médio}) = 12 \text{ mA}$  e obteve-se  $I_p = 13 \text{ mA}$ ,  $I_p^{IR} = 3 \text{ mA}$  e  $i_p(\text{médio}) = 8 \text{ mA}$  para as torres 492 e 472 respectivamente. Portanto essas duas torres podem ser enquadradas como torres pouco corroídas, pois as correntes estão menores que 25 mA.

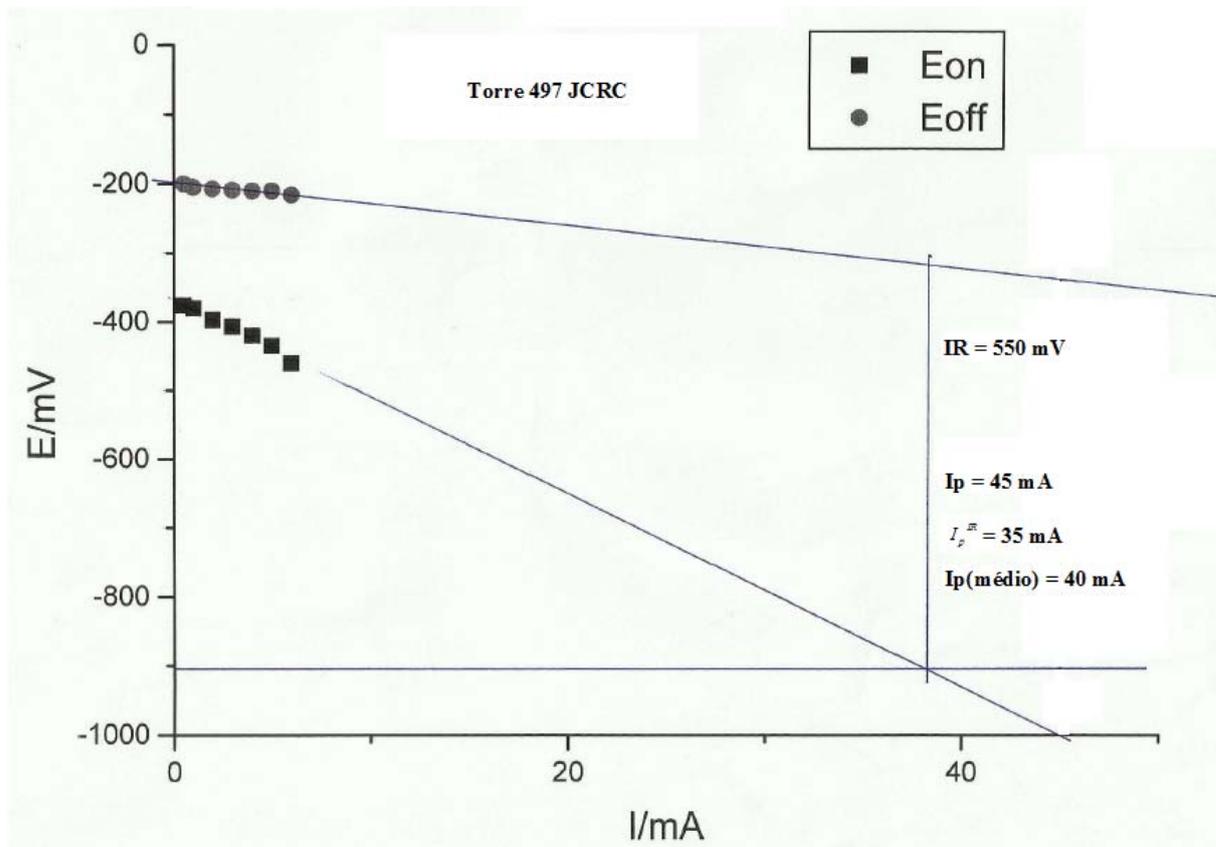


Figura 11: Injeção de corrente na torre 497 da LT JCRC

Como pode ser visto na Fig.11, obteve-se  $I_p = 45 \text{ mA}$ ,  $I_p^{IR} = 35 \text{ mA}$  e  $i_p(\text{méd}) = 40 \text{ mA}$ . De acordo com a Tabela 4 essa torre enquadra-se como torre com provável corrosão, pois as correntes estão no intervalo de (25 a 100) mA.

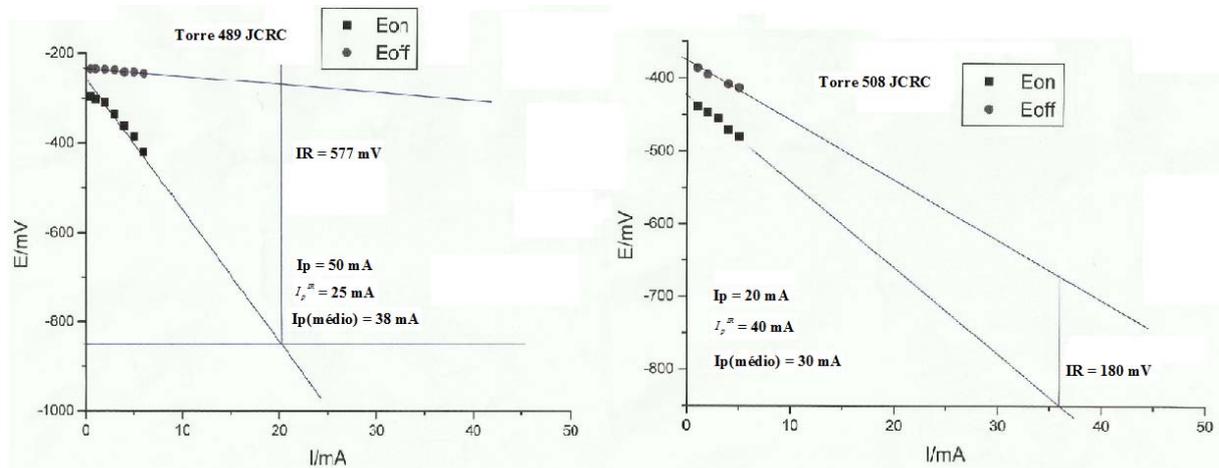


Figura 12: Injeção de corrente nas torres 489 e 508 da LT JCRC

Como pode ser visto na Fig.12, obteve-se  $I_p = 50 \text{ mA}$ ,  $I_p^{IR} = 25 \text{ mA}$  e  $i_p(\text{méd}) = 38 \text{ mA}$  e obteve-se  $I_p = 20 \text{ mA}$ ,  $I_p^{IR} = 40 \text{ mA}$  e  $i_p(\text{méd}) = 30 \text{ mA}$  para as torres 489 e 508 respectivamente. Portanto essas duas torres podem ser enquadradas como torres corroídas com provável perda de material base, pois as correntes estão no intervalo de (25 a 100) mA.

Um parâmetro muito importante na análise de solos é a Queda Ohmica existente quando está nas condições em que a corrente injetada é idêntica a corrente de proteção da estrutura enterrada. O valor desse Queda Ohmica pode ser obtida durante a técnica de injeção de corrente, ao relacionar o potencial “on” com o potencial “off”, conforme pode ser visto nas Figs.9 a 12. A partir dessas Figuras, obtém-se o valor da Queda Ohmica (IR) subtraindo o potencial “off” do potencial “on” nas condições de proteção. Estes valores foram de: (620, 660, 420, 550, 577 e 180) mV para as torres 494, 492, 472, 497, 489 e 508 respectivamente. Este parâmetro é muito útil quando se deseja comparar duas amostras de solos similares com relação a intensidade corrosiva. Aquela que apresentar maior IR, será a que terá menor perda de material base. Outro fator importante a ser observado nas torres estudadas em Rondonópolis é que apenas a torre 508 apresenta um valor de IR bem menor que os valores de “IR” das outras torres. Provavelmente a torre 508 esteja instalada em um local de brejo.

## Conclusões

Ao aplicar a técnica de injeção de corrente nas torres de uma linha de transmissão em Imperatriz e outra em Rondonópolis, obteve-se a corrente necessária para que torre ficasse protegida ora pelo critério envolvendo o circuito aberto ( $I_p$ ), ora quando o critério envolve as condições de circuito fechado  $I_p^{IR}$  e ora determinando o valor médio  $i_p(\text{méd})$  desses parâmetros.

Tendo em conta que se usa o valor de 25  $\mu\text{m}/\text{ano}$  como valor a ser garantido durante uma instalação de proteção catódica em estruturas enterradas. Tendo em conta os critérios de corrosão apresentados nas normas ABNT NBR 16 254 -1 e IEEE 2002. Tendo em conta os parâmetros acima mencionados, como ferramenta e confrontando os valores de corrente injetada com a intensidade de corrosão (medida pela técnica de perda de massa), é observado uma significativa relação entre esses parâmetros. O que faz respaldar um adequado critério proposto conforme mostrado na Tabela 4.

Como pode ser visto na Fig.4 e usando a Tabela 4 enquadra-se as torres 127 e 102 da LT 500 kV IZ-PD como torres corroídas com provável perda de material base, pois as correntes estão no intervalo de (25 a 100) mA, porém a torre 127 mais preocupante que a torre 102.

Como pode ser visto nas Figs.9 e 10 e usando a Tabela 4 enquadra-se as torres 494, 492 e 472 da LT JCRC como torres pouco corroídas, pois as correntes estão menores que 25 mA.

Como pode ser visto nas Figs.11 e 12, e usando a Tabela 4 enquadra-se as torres 497, 489 e 508 da LT JCRC como torres corroídas com provável perda de material base, pois as correntes estão no intervalo de (25 a 100) mA.

### Agradecimentos

A equipe técnica agradece:

**À ELETROBRÁS ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A); 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 deste trabalho. E agradece ao Márcio dos Santos, ao Valdevan Santos à Regina do Socorro Melo Amaral ao Leonardo Henrique Lopes da Silva Oliveira ao Kelly Jaqueline Brambilla e a todos aqueles profissionais que, de forma direta e indireta, colaboraram para a conclusão deste trabalho.**

### Referências bibliográficas

- (1) SILVA, J. M. **Formação e redução eletroquímica de óxidos sobre ferro em solução de bicarbonato de sódio 0,75 M.** 1993. Tese (Doutorado em Físico-química) – Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1993.
- (2) RP0169/83 e RP0169/92 (revisão) sobre “**Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems**”, Houston, Tx, NACE.
- (3) GLASS, G.K. The 100mV Potential Decay Cathodic Protection Criterion – **Corrosion – Marc** (1999) 286-290.
- (4) NELSON, J. P. MALMDEDAL, K. SEN, P.K. – Steel grounding design guide and applications notes – **IEEE rural electric power conference** – May (2002).
- (5) ABNT NBR 16254-1. – **Materiais para sistemas de aterramento – Parte 1: Requisitos gerais** – Janeiro (2014).
- (6) TRABANELLI, G. Z. F. ARPAIA, M. “Methods of Determination of Soil Corrosiveness With Respect to Metallic Structures”, **Chinica Pura ed Applicata**, v. III, Sezione V, n. 4, pp. 43-59 (1972).
- (7) STARKEY, R. L. WIGHT, K. M. Anaerobic Corrosion of Iron in Soil. In: INVERSION, W. P. Tests in Soils, cap. 21. **Handbook of Corrosion Testing and Evaluation.** New York: ed. W. H. Ailor, John Wiley and Sons, 1971.

- (8) BOOTH, G. H. Criteria of Soil Agressiveness toward Buried Metals. **British Corrosion Journal**, may 1967.
- (9) SILVA, J. M. BRASIL,S.L.D.C. Critério de avaliação da corrosividade de solos baseado na sobretensão de hidrogênio. Portugal. **Corrosão Proteção de Materiais** Vol.29 N.01 (2010).
- (10) STRATFULL, R.F. A new Test for Estimation Soil Corrosivity Based on Investigation of Metal Highway Curverts, **Corrosion** Vol. 17 no. 10, 1961.
- (11) SERRA, E.T. **Corrosão e proteção anticorrosiva dos metais no solo** – CEPEL - Rio de janeiro (2006).

\* \* \*