

06 a 10 de Outubro de 2008  
Olinda - PE



## AVALIAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES E LINHAS DE TRANSMISSÃO CONTAMINADOS COM LIMO

<b>Darcy Ramalho de Mello</b>	<b>Joceli M. G. Angelini</b>	<b>Francisco R. R. França</b>
<b>CEPEL</b>	<b>CPqD</b>	<b>ELETRONORTE - Pará</b>
darcy@cepel.br	joceli@cpqd.com.br	rfranca@eln.gov.br

<b>Ana R. C. L. Duarte, Rosildo S. Paiva e Eliane B. de Sousa</b>	<b>Ivan C. Lobato Jr</b>
<b>UFPA</b>	<b>Consultor</b>
anarosa@ufpa.br, rpaiva@ufba.br e elianebrabo@bol.com.br	ivanlobjr@hotmail.com

### **PALAVRAS CHAVE:**

Isoladores, limo, linhas de transmissão, poluição, subestações

### **DADOS DA EMPRESA:**

Nome: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica  
Endereço: Av. Olinda s/n – Adrianópolis – Nova Iguaçu – RJ – CEP: 26053-121  
Telefone/fax: (21) 2666-6312 / 2667-3079  
E-mail: darcy@cepel.br

### **RESUMO**

Contaminações de isoladores sejam de vidro, porcelana ou poliméricos, assim como de outros equipamentos das subestações e linhas de transmissão da ELETRONORTE instaladas na região amazônica, por agentes biológicos denominados de limo, requer manutenção e limpeza diária colocando pessoas em risco e aumentando a possibilidade de falha devido a esta tarefa. O objetivo deste artigo é apresentar os resultados parciais dos estudos realizados para identificar o tipo de agente biológico que contamina peças e outros equipamentos elétricos de subestações do Estado do Pará, avaliando a redução da suportabilidade dielétrica dos isoladores, em frequência industrial, causada pela presença destes organismos e, sobretudo, descobrir um meio de reduzir ou retardar o seu crescimento nestas peças, aumentando a confiabilidade dos sistemas da ELETRONORTE e reduzindo os custos de manutenção. O limo 'é constituído por: Cyanophyta, Chlorophyta e fungos. Entre os diversos produtos avaliados para reduzir ou evitar a proliferação de limo, coberturas de Sylgard puro e com diversas soluções apresentaram bons resultados elétricos. Deve-se aguardar os resultados de avaliação de degradação em laboratório bem como a de campo (mínimo de um ano de aplicação), para se ter um posicionamento melhor quanto ao produto ideal, considerando-se a praticidade de aplicação e durabilidade.

### **1. INTRODUÇÃO**

A contaminação, por limo e outros materiais característicos da região amazônica, em porcelanas, vidros, polímeros e partes metálicas dos equipamentos das subestações do Pará, causa aspecto visual inadequado e acúmulo de umidade, com necessidade constante de lavagem dos isoladores com água "desmineralizada" sob pressão, aplicada

em "linha viva", ou seja, com o sistema elétrico energizado, aumentando os riscos de acidentes no trabalho, quando da realização da lavagem de isoladores em linha viva. Se não realizar essa ação, que implica em gastar grandes recursos, ocorrerão desligamentos do sistema elétrico por perda de isolamento, com graves consequências para os consumidores e deterioração da imagem da concessionária.

Assim, é de grande importância pesquisar as causas da contaminação biológica em peças e equipamentos de transmissão elétrica e saber como ocorre o crescimento dos organismos que formam o limo e como estes podem ser evitados, com o objetivo de propor medidas preventivas e corretivas, eliminando essas inconveniências ou, pelo menos, aumentando os prazos de correção (lavagens dos isoladores).

Além disso, procurar quantificar a redução na suportabilidade dielétrica e perdas, de modo a poder comparar custos com as soluções alternativas para manutenções corretivas ou soluções preventivas, para novos produtos a serem instalados, minimizando procedimentos operacionais em áreas de risco, soluções estas com impactos ambientais positivos, dentro dos padrões de preservação do ecossistema.

Este trabalho apresenta alguns resultados do estudo realizado para identificar os elementos biológicos (microalgas e fungos) e químicos (se existirem) que constituem o limo depositado sobre as superfícies dos isoladores com o objetivo de reduzir a quantidade deste depósito em equipamentos das subestações da ELETRONORTE, situadas no Pará, dentro da floresta amazônica, avaliando os diferentes meios, formas e velocidades do crescimento biológico e como este afeta os diferentes substratos e interferem nas propriedades elétricas de superfície, caso estas estejam vinculadas aos requisitos funcionais dos equipamentos, podendo, desta forma, exercer influências na suportabilidade dielétrica dos equipamentos das subestações. O estudo está sendo desenvolvido através de atividades em campo e em laboratórios com reproduções paralelas dos crescimentos vegetativos dos organismos que formam o limo, em câmaras de laboratórios e em corpos-de-prova de equipamentos, com acompanhamento por observações visuais e níveis de contaminação, sendo avaliados os sinergismos e antagonismos entre os vários fatores. Serão apresentadas, também, as soluções alternativas de controle destas contaminações em equipamentos antigos e soluções preventivas para novos equipamentos a serem instalados, que estão sendo objeto de estudo em campo (uso da subestação de Rurópolis, próxima à floresta amazônica, e Utinga como subestações de pilotos) e em laboratórios (UFPA, CPqD e CEPTEL).

## 2. AVALIAÇÃO DOS ELEMENTOS BIOLÓGICOS

Foram realizadas as análises do limo coletado da superfície dos equipamentos e britas das subestações de Guamá, Utinga e Rurópolis (Estado do Pará), nos meses de maio e outubro de 2006. O limo foi retirado da superfície dos equipamentos através de escovações leves utilizando escova dental estéril e posteriormente fixado com formol neutro a 4%. A retirada do limo das britas ocorreu por meio de tratamento laboratorial (ver Figura 1).

Por meio de observações utilizando o microscópio óptico binocular identificou-se a composição do limo nas britas e superfícies dos equipamentos: Cyanophyta (microalgas cianofíceas), Chlorophyta (microalgas clorofíceas) e fungos (presentes na forma de esporos e hifas).

As cianobactérias ou cianofíceas, juntamente com os fungos, constituem os principais componentes do limo. As cianofíceas são organismos unicelulares, coloniais ou filamentosos, aflagelados, fotoautotróficos, também denominadas, vulgarmente, de algas azuis. Nas partes periféricas do protoplasma, concentram-se os pigmentos que podem conferir a essas algas a coloração característica verde-azulada, como também uma particular refração [1]. As cianofíceas possuem uma característica que lhes proporciona uma vantagem em relação aos demais seres vivos: na falta de nitrogênio fixado (amônia, nitrito e nitrato), elas podem obter este elemento químico aproveitando o N<sub>2</sub> (gás nitrogênio) da atmosfera. Essa característica lhe confere grande adaptabilidade em ambientes aéreos.

Os fungos foram visualizados somente nas formas de esporos e hifas não sendo possível sua identificação ao nível de organismo.

Nas análises do limo das britas coletadas no mês de maio (mês chuvoso) foram identificadas 10 espécies de microalgas e muitos esporos de fungos. As espécies de algas foram encontradas sob diferentes formas, porém a maior representatividade foi de espécies cocóides e ovais, destacando-se as espécies *Trebouxia* sp. (clorofícea), *Gloeocapsa* sp. e *Scytonema* sp. (cianofícea) (ver figura 2).

Durante o mês de outubro (mês seco) foram identificadas 6 espécies de cianofíceas e poucos esporos fúngicos. As cianofíceas filamentosas tiveram maior representatividade destacando-se as espécies: *Hapalosiphon* sp., *Scytonema* sp. e *Tolypothrix* sp (ver figura 2).

Foram identificadas 11 espécies durante as análises (ver tabela 1) destacando-se as cianofíceas coloniais (filamentosas e cocóides).

A figura 3 mostra a contaminação do limo sobre diversos equipamentos das subestações de Guamá, Utinga e Rurópolis. Foi realizado também o espectrograma infravermelho, por transformada de Fourier (FTIR), dos depósitos de limos retirados de equipamentos ou brita das subestações de Utinga e Guamá, após remoção mecânica com solvente e evaporação, sendo que os resultados podem ser vistos na figura 4.

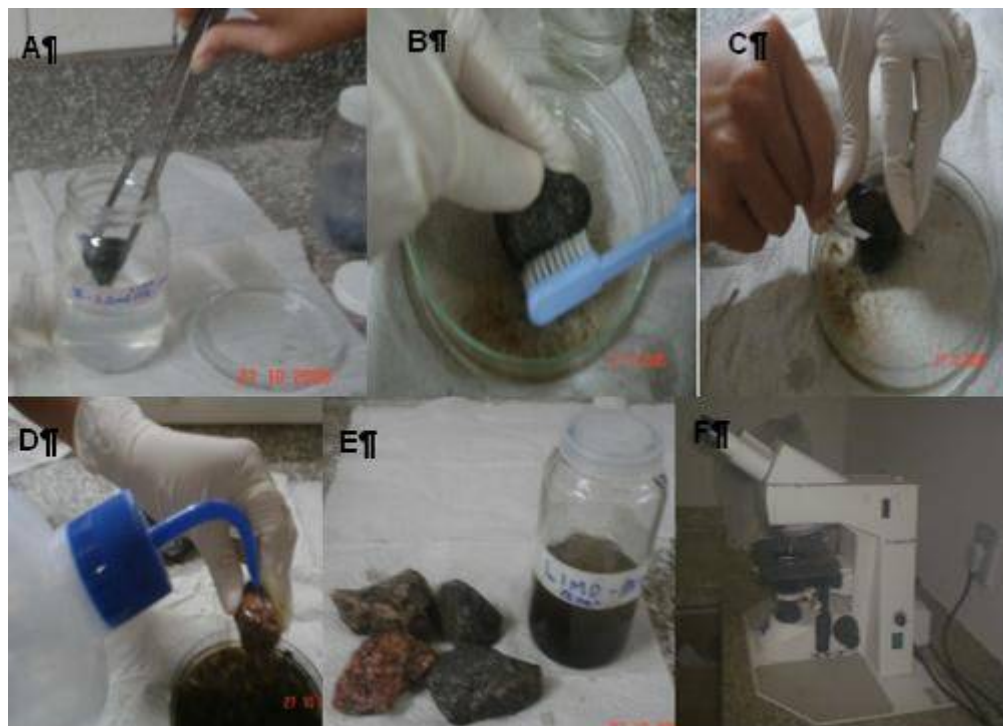


Figura 1 - Tratamento laboratorial das britas coletadas nas subestações de Guamá, Utinga e Rurópolis [1]:  
 (A) hidratação do limo presente na brita; (B) retirada do limo por raspagem com escova dental estéril;  
 (C) retirada do limo com auxílio de bisturis; (D) lavagem do limo;  
 (E) fixação com formol neutro a 4%; (F) observação em microscópio de luz binocular

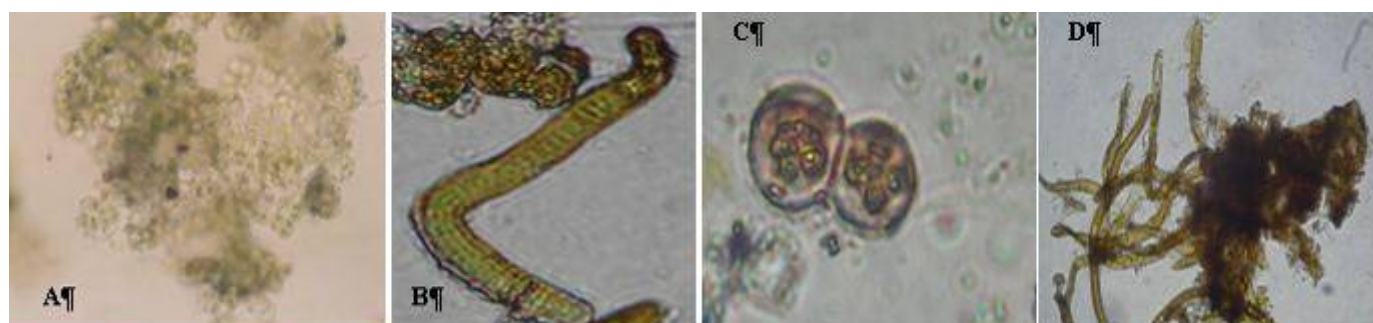


Figura 2 – Fotos de cianofíceas encontradas nas britas e equipamentos das subestações de Guamá, Utinga e Rurópolis:  
 (A) *Trebouxia* sp., (B) *Scytonema* sp., (C) *Gloeocapsa* sp. (D) *Tolypothrix* sp.

Tabela 1 - Lista das espécies de microalgas identificadas no limo coletados nas subestações do Guamá, Utinga e Rurópolis nos meses de maio/2006 (período chuvoso) e outubro/2006 (seco) [1]

Espécies	Características
<i>Anabaena</i> sp.	Organismo colonial apresentando 3 a 5 células.
<i>Chlorogloea</i> sp.	Organismo colonial apresentando 4 a 6 células.
<i>Dactylococcopsis</i> sp.	Organismo solitário.
<i>Chroococcus</i> sp.	Organismo colonial apresentando 4 a 10 células.
<i>Gloeocapsa</i> sp.	Organismo colonial apresentando 4 a 6 células.
<i>Nostoc</i> sp.	Organismo colonial apresentando 2 a 4 células.
<i>Oscillatoria</i> sp.	Organismo colonial.
<i>Stigonema</i> sp.	Organismo colonial filamentosos.
<i>Scytonema</i> sp.	Organismo colonial filamentosos.
<i>Tolypothrix</i> sp.	Organismo colonial filamentosos.
<i>Trebouxia</i> sp.	Organismo esférico colonial.



Figura 3 – Equipamentos contaminados com limo na subestação de Rurópolis.

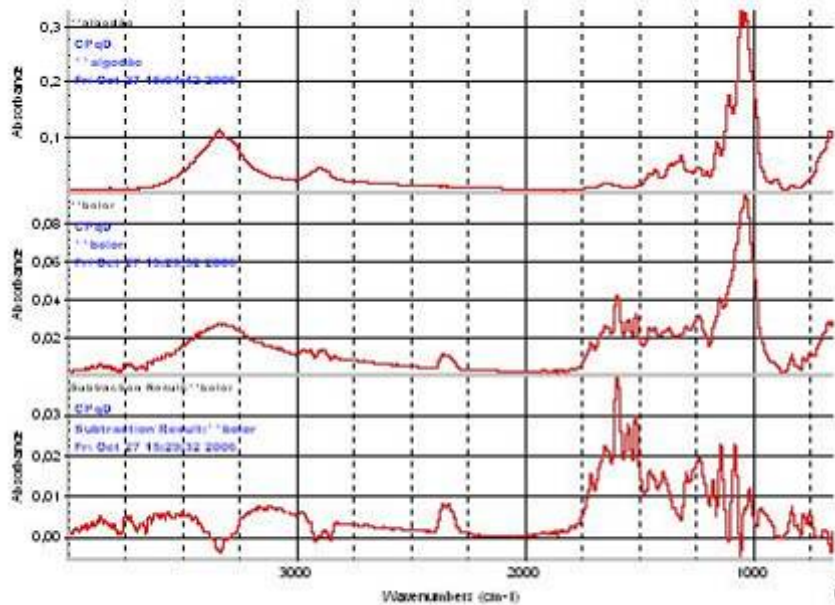
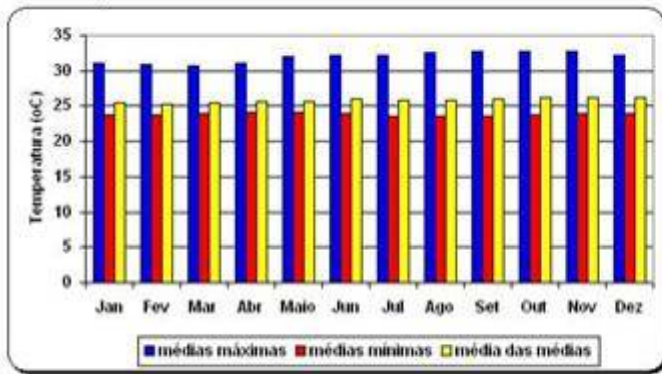


Figura 4 – FTIR obtido do material coletado nas subestações de Utinga e Guamá [3].

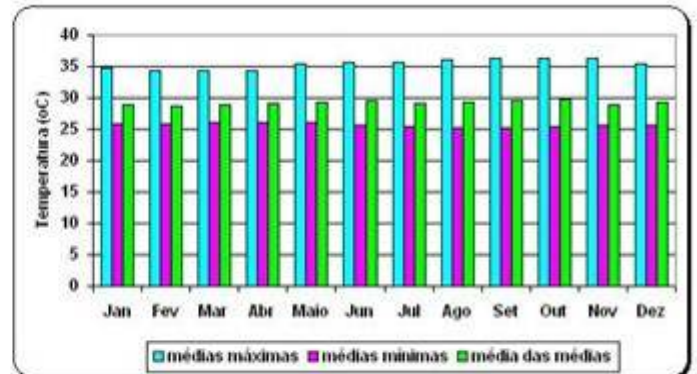
O clima é um fator ambiental muito importante para caracterizar e ordenar as paisagens e o meio biológico. O estudo climático busca reconhecer sua influência sobre o solo, a fauna e a flora, auxiliando a compreensão do cenário atual e a proliferação de determinado organismo. Para tanto, são necessários dados de condições meteorológicas

(precipitação, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, radiação solar e temperatura) de longo prazo da área a ser estudada.

No presente estudo, os dados temporais dos últimos 20 anos referentes ao parâmetro da temperatura, medidos na Estação da Embrapa Amazônia Oriental, foram obtidos, sendo que os gráficos traçados com os dados podem ser vistos na figura 5, e pode-se concluir que existem somente duas estações definidas na Região Norte do País: o inverno que começa no mês de novembro e estende-se até março, e o verão que vai de junho até setembro. Conclui-se também, que nos últimos 10 anos, houve um aumento de temperatura, tornando o clima em escala global mais quente, e dentre os fatores para esse possível aquecimento estão o desflorestamento, a emissão de dióxido de carbono, a destruição da camada de ozônio etc.



(a) Período de 1985 a 1994



(b) Período de 1995 a 2005

Figura 5 – Valores de temperaturas, dos últimos 20 anos, registrados para a Região Norte brasileira (Fonte: Embrapa Amazônia Oriental).

### 3. AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS DE CONTROLE DO LIMO

Uma pesquisa bibliográfica na Internet e em banco de patentes e teses indicou os diversos produtos que podem ser utilizados para controle do limo. Após avaliação, alguns produtos foram aplicados no campo (ver tabela 2) e ensaiados em laboratório. Uma descrição sucinta dos produtos avaliados experimentalmente pode ser vista a seguir:

- Sulfato ferroso monohidratado (Ácido inorgânico; sistêmico): registrado no Ministério da Agricultura para controle em relvados, isento de classificação toxicológica e não contamina as águas.
- Pasta bordaleza: fungicida agrícola tradicional composto de sulfato de cobre, água e cal virgem. Deve ser aplicado com uma brocha de pedreiro, pintando. Controla líquens, musgos, algas e bactérias em plantas.
- Calda sulfocálcica: Fungicida de uso na agricultura composto de enxofre em pó, água, adesivo e cal virgem fresco.
- Revestimento de Silicone: semelhante ao Sylgard, utilizado por diversas concessionárias. É inflamável, há necessidade de desligar os equipamentos elétricos antes da aplicação para evitar fogo. Aplicação definitiva, sem necessidade de lavagens posteriores.
- Labcon Antialgas: algicida, não tóxico aos peixes, que atua na prevenção e combate à formação de algas indesejáveis em aquários de água doce. Age também na melhoria da qualidade da água, tornando-a cristalina e inodora. É composto por peróxido de hidrogênio; álcool etílico; água destilada.
- Tintas com fungicidas e algicidas: tipo Suvinil exterior.
- Pulvitec: silicone à base de água.
- Silano: primer para melhorar a adesão de silicone no campo.

Em laboratório, foram realizadas duas etapas diferentes:

- Na primeira etapa [4], a suportabilidade dielétrica de isoladores pedestal, cobertos com os produtos em análise (ver figura 6), foi avaliada em frequência industrial (com 60 kV), durante a secagem do produto e sob névoa limpa. Os resultados podem ser vistos na tabela 3.
- Na segunda etapa [5], a suportabilidade dielétrica de isoladores roldana, cobertos com os produtos em análise e após envelhecimento em laboratório (ver figura 7), foi avaliada em frequência industrial (com 8 kV), sob névoa limpa. Os resultados podem ser vistos na tabela 4.

Tabela 2 – Relação dos produtos avaliados [3]

Produtos avaliados	Britas de Utinga e Guamá	Seixos e Britas de Rurópolis	Isoladores Cerâmicos 69 kV	Isoladores de Vidro 69 kV	Metais
1- Pasta Bordaleza	X	X	X	X	X
2- Pasta Bordaleza seguida de revestimento de silicone (Sylgard)	Não aplicável	Não aplicável	X	X	X
3- Revestimento de silicone (Sylgard)	Não aplicável	Não aplicável	X	X	X
4- Pulvitec	Não aplicável	Não aplicável	X	X	X
7- Silano seguido de Pulvitec	Não aplicável	Não aplicável	X	X	X
8-Sulfato ferroso monohidratado (com ou sem revestimento de silicone - Sylgard)	X	X	X	X	X
9- Algicida	X	X	X	X	X
10- Fungicida	X	X	X	X	X
11- Algicida + Fungicida 50%	X	X	X	X	X
12-Tinta com fungicida e algicida Suvinil	X	X	X	X	X

#### 4. AVALIAÇÃO DIELÉTRICA DO LIMO

Uma investigação extensiva [6] realizou um levantamento geral mundial sobre a ocorrência de crescimentos biológicos em isoladores. A questão se o crescimento microbiológico pode ou não deteriorar a superfície do material, e alterar o desempenho dos isoladores, foi discutida. Os contaminadores biológicos mais comuns são fungos, algas e líquens. O crescimento de fungos torna-se importante primeiramente porque suas raízes podem penetrar no material e, desse modo, criar uma estrutura porosa perto da superfície do material. As algas não penetram na massa do material, mas crescem em sua superfície, e podem mudar as propriedades dos isoladores. O relacionamento simbiótico entre espécies de algas e fungos é chamado de líquen. O artigo relata crescimento de algas em isoladores cerâmicos e não-cerâmicos, com uma indicação da redução da tensão disruptiva em isoladores de porcelana, biologicamente contaminados, em Papua, Nova Guiné.

Um estudo [7] sobre o crescimento de fungos (*Aspergillus* sp) em isoladores não cerâmicos e seu impacto nas propriedades dielétricas foi realizado na Flórida, com isoladores instalados em uma rede de 138 kV. Os ensaios dielétricos consistiam de medições de resistência superficial e determinação da suportabilidade em frequência industrial, com névoa limpa. Mudanças na suportabilidade foram correlacionadas a mudanças no material, observadas por alterações no espectrograma infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e nas medições de resistência superficial. Concluiu-se que o crescimento de fungos é dependente da formulação do material e das condições ambientais e que a suportabilidade dielétrica em isoladores de silicões foi superior a obtida em isoladores de EPR ou de porcelana.

Face os relatos verificados nas referências, decidiu-se avaliar a suportabilidade de isoladores de disco, de vidro temperado, contaminados com limo e retirados da subestação de Guamá, em frequência industrial (30 kV), a seco e sob chuva. A figura 8 mostra detalhes de alguns isoladores ensaiados e os resultados obtidos podem ser vistos na tabela 5.

Foi medida também a corrente de fuga, em frequência industrial (60 kV), sob névoa limpa, de um isolador pedestal com limo vivo (ver figura 9), retirado da SE de Utinga e enviado pela UFPA, sendo a medição repetida após a retirada da cobertura de limo em cada um dos quadrantes do isolador. Os resultados obtidos podem ser vistos na tabela 6.



Figura 6 – Isoladores pedestal ensaiados com diversas coberturas: (A) Isolador novo; (B) Isolador com calda bordaleza; (C) Isolador com tinta epóxi; (D) Isolador com sulfato ferroso mais sylgard.



Figura 7 – Isoladores roldana ensaiados após 6 meses em diferentes envelhecimentos acelerados: (A) Isolador novo; (B) Isolador com Sylgard após imersão em água a 40 °C; (C) Isolador com Sylgard colocado em estufa; (D) Isolador com tinta epóxi colocado em estufa.

Tabela 3 – Resultados da avaliação dos isoladores pedestal [4]

Tipo de produto inicialmente ensaiado	Condição do ensaio	Corrente de fuga máxima (mA)	Resultado
Novo	A seco	2,88	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	5,25	Suportou a aplicação
Calda bordaleza	Durante a secagem	-	Descarregou
Calda bordaleza concentrada com cobertura de Sylgard	Durante a secagem	2,57	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	31,32	Suportou a aplicação
Sylgard	Durante a secagem	1,9	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	2,3	Suportou a aplicação
Etileno glicol puro	Durante a secagem	3,04	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	7,45	Suportou a aplicação
Etileno glicol concentrado + Sylgard	Durante a secagem	11,51	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	36,92	Suportou a aplicação
Tinta epóxi)	Durante a secagem	8,12	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	14,22	Suportou a aplicação
Sylgard com sulfato de ferro	Durante a secagem	6,0	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	-	Descarregou
Tinta epóxi com sulfato de ferro	Durante a secagem	6,43	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	16,08	Suportou a aplicação
Sylgard com tinta epóxi	Durante a secagem	3,4	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	18,96	Suportou a aplicação

Tabela 4 – Resultados da avaliação dos isoladores tipo roldana [5]

Condição do item de ensaio		Corrente de fuga máxima (mA)	Resultado do ensaio
Novo		10	Suportou
Com Sylgard	sem envelhecimento	6	Suportou
	após 6 meses de imersão em água a 40 °C	0	Suportou
	após 6 meses em estufa (120 °C)	6	Suportou
	após 6 meses de weather-ometer	0	Suportou
Com Sylgard + Calda bordaleza diluída	sem envelhecimento	0	Suportou
	após 6 meses de imersão em água a 40 °C	5	Suportou
	após 6 meses estufa (120 °C)	7	Suportou
	após 6 meses de weather-ometer	5	Suportou
Com Epóxi	sem envelhecimento	0	Suportou
	após 6 meses de imersão em água a 40 °C	12	Suportou
	após 6 meses estufa (120 °C)	0	Suportou
	após 6 meses de weather-ometer	-	Descarregou
Com Sylgard + Etilenoglicol diluído	sem envelhecimento	6	Suportou
	após 6 meses imersão em água a 40 °C	6	Suportou
	após 6 meses estufa (120 °C)	0	Suportou
	após 6 meses de weather-ometer	0	Suportou





Figura 8 – Detalhe dos isoladores de disco com limo, enviados pela ELETRONORTE.

Tabela 5 - Resultados da avaliação dos isoladores de disco com limo [4]

Condição do item de ensaio	Condição do ensaio	Corrente de fuga máxima (mA)	Resultado
Amostra 1 com limo vivo	A seco	19,2	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	21,4	Suportou a aplicação
Amostra 2 com limo vivo	A seco	12,3	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	23,6	Suportou a aplicação
Amostra 3 com limo morto	A seco	0,52	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	0,64	Suportou a aplicação
Amostra 4 após retirada do limo morto	A seco	0,56	Suportou a aplicação
	Com névoa limpa	0,66	Suportou a aplicação

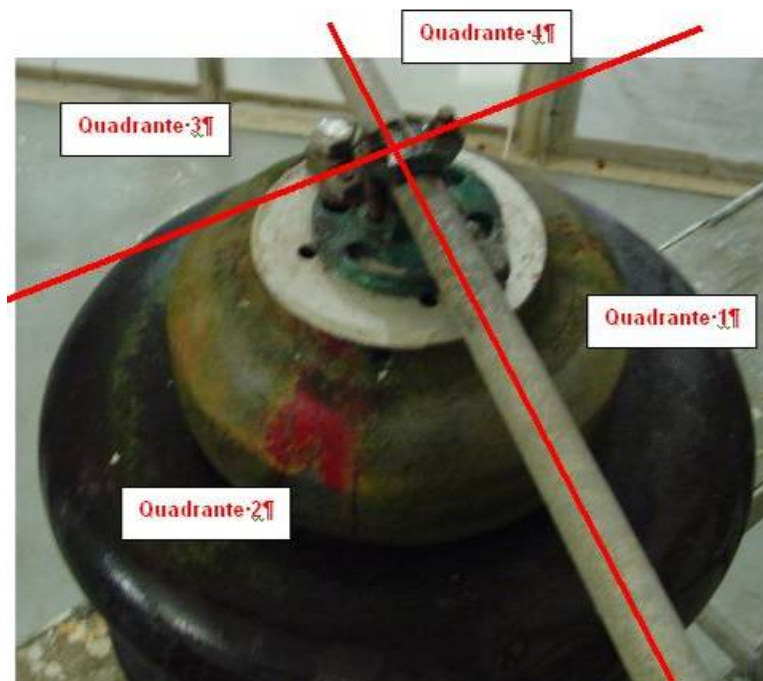


Figura 9 – Detalhe do isolador pedestal com limo retirado da SE de Utinga.

Tabela 6 - Resultados da avaliação do isolador pedestal com limo [4]

Condição do item de ensaio	Condição de ensaio	Corrente de fuga máxima (mA)
Com limo	A seco	1,84
	Sob névoa limpa	15,5
Com limo, após limpeza de ¼ da superfície.	Sob névoa limpa	10,3
Com limo, após limpeza de 2/4 da superfície.	Sob névoa limpa	3,02
Com limo, após limpeza de 3/4 da superfície.	Sob névoa limpa	2,25
Sem limo, após limpeza de toda a superfície.	Sob névoa limpa	2,27

## 5. CONCLUSÕES

A composição e a estrutura do limo variam em relação ao local onde ele se instala. Ou seja, em superfícies ásperas (ou porosas) a composição do limo é caracterizada por Cianofíceas filamentosas produtoras de muco. O limo apresenta uma camada espessa, de cor verde escura, quando aderido na brita, no concreto ou no metal. Em superfícies mais polidas, como a dos isoladores, ocorre o domínio das Cianofíceas e Clorofíceas cocóides envoltas por uma camada de Mucilagos.

Foi verificado que o isolador com limo somente apresenta valor elevado de corrente de fuga, quando o limo está vivo, e que é possível tentar quantificar a quantidade de limo presente na superfície de um isolador, com a variação da corrente de fuga. Este fato permitiria o estabelecimento da data quando a lavagem do isolador se tornaria necessária.

A medição da corrente de fuga devido ao limo permite uma avaliação das perdas que ele causa:

- Considerando a distribuição de potencial no primeiro isolador de uma cadeia de 138 kV como sendo 12%, obter-se-ia uma tensão de 9,6 kV neste isolador;
- A medição da corrente de fuga, em um isolador de disco com limo vivo, indicou 9,4 mA, quando aplicado 10 kV;
- Assim sendo, a perda em uma cadeia de 138 kV seria de: 80 kV (tensão nominal fase-terra) x 9,4 mA = 752 W por cadeia de isoladores.

Entre os diversos produtos avaliados para reduzir ou evitar a proliferação de limo, as coberturas de Sylgard puro, Sylgard com Calda Bordaleza, Sylgard com Etilenoglicol e tinta poliuretana com primer epóxi antimofa apresentaram bons resultados elétricos. Devem-se aguardar os resultados de avaliação da degradação em laboratório bem como a de campo (mínimo de um ano de aplicação), para se ter um posicionamento melhor quanto ao produto ideal, considerando-se a praticidade de aplicação e sua durabilidade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Eskinazi-Leça, E.; Neumann-Leitão, S & Costa, M. F. Oceanografia um Cenário Tropical. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Oceanografia. Recife, Bagaço, 2004, 761 p.
- [2] CPqD. Levantamento do estado da arte e operacional. Relatório Técnico PD.12.AT.ENS.2157A/RT-01-AA, 2006, 35 p.
- [3] CPqD. Planejamento experimental e resultados iniciais. Relatório Técnico PD.12.AT.ENS.2157A/RT-02-AA, 2006, 26 p.
- [4] Mello, Darcy Ramalho de. Relatório de ensaio CEPEL 5706/2007, 9 p.
- [5] Mello, Darcy Ramalho de. Relatório de ensaio CEPEL 52827/2007, 10 p.
- [6] Manjula, Fernando M.A.R. Performance of Non-ceramic. PhD Thesis presented to the Department of Electric Power Engineering - Chalmers University of Technology, SE-412 96, Göteborg, Sweden, ISBN 91-7197-848-8; 1999.
- [7] Gorur, R. S.; Hill, R.; et al Mold growth on non ceramic insulators and its impact on electrical performance; IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 18, n2, abril (2003).