Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

INTERFERÊNCIAS ELÉTRICAS EM CORRENTE ALTERNADA E SUAS INTERFACES COM A PROTEÇÃO ANTICORROSIVA

Eduardo Chaves Barreto[1], Mauro Chaves Barreto[2], Laerce de Paula Nunes[3], Gilberto dos Santos Pires Jr[4].

ABSTRACT

The alternating current that flows in the soil cause important interference in buried structures that can affect installations safety and integrity. Nowadays, the improvement in coatings technology has increased the interference levels and the concern regards its effects. The mitigation solutions demand studies to make the corrosion protection and the grounding systems compatible. This paper presents the influence of the alternating currents over buried structure, especially pipelines, its consequences and discusses mitigation solutions and their influence in the corrosion protection system.

RESUMO

As correntes alternadas lançadas ao solo pelos sistemas elétricos promovem importantes interferências nas estruturas enterradas gerando potenciais que podem afetar a integridade e a segurança da instalação. Atualmente com a melhoria cada vez maior da eficiência dos revestimentos estas interferências têm se mostrado mais significativas e mais preocupantes. Por outro lado, as medidas mitigadoras requerem estudos que compatibilizem a proteção anticorrosivas e o adequado aterramento das estruturas. Neste trabalho, apresenta-se a evolução da influência das correntes alternadas sobre estruturas enterradas, particularmente nas tubulações, as conseqüências destas correntes e aborda as medidas mitigadoras. No que concerne a estas medidas, aborda a influência das mesmas na proteção anticorrosiva.

PALAVRAS –CHAVE: Proteção Catódica**,** CA**,** Interferência

1. INTRODUÇÃO

As correntes alternadas lançadas ao solo pelos sistemas elétricos de transmissão de energia promovem importantes interferências nas estruturas enterradas gerando potenciais que podem afetar a integridade e a segurança da instalação.

Estas interferências podem ser de dois tipos:

[1]Eduardo Chaves Barreto – Engenheiro Eletricista – IEC,
[2]Mauro Chaves Barreto - Engenheiro Civil – IEC,
[3] Laerce de Paula Nunes - Engenheiro Metalúrgico – IEC,
[4] Gilberto dos Santos Pires Jr. - Engenheiro Civil – IEC.

- Aquelas que geram potenciais elevados que podem causar danos ao revestimento, prejudicar a integridade do duto, ou afetar a segurança das pessoas e são oriundas especialmente de defeitos na rede provocando elevada indução ou condução pelo solo;

- As correntes de baixa tensão que afetam particularmente o sistema de proteção anticorrosiva e são provenientes de processos indutivos resultantes do desbalanceamento das três fases da linha de transmissão;

As interferências do primeiro tipo são muito preocupantes e exigem importantes estudos de mitigação, porém as ações das mesmas são esporádicas.

As do segundo tipo são permanentes e se tornaram mais significativas com a melhoria cada vez maior da eficiência dos revestimentos. Elas precisam ser combatidas, pois podem provocar choques em pessoas que toquem o duto e corrosão por corrente AC.

As medidas mitigadoras requerem estudos que compatibilizem a proteção anticorrosiva e o adequado aterramento das estruturas.

Neste trabalho apresenta-se a evolução da influência das correntes alternadas sobre estruturas enterradas, particularmente as tubulações, com ênfase no combate das correntes induzidas, as conseqüências destas correntes e aborda as medidas mitigadoras. Aborda também a influência das mesmas na proteção anticorrosiva.

2. ANÁLISE DO FENÔMENO ELÉTRICO

As tubulações enterradas que se aproximam de linhas de alta tensão podem estar sujeitas a correntes de condução ou indução no caso de defeitos na rede ou correntes induzidas permanentes devido à ação do campo elétrico das fases sobre o duto.

As correntes induzidas permanentes apesar dos pequenos valores podem causar importantes alterações sobre a proteção anticorrosiva.

A Figura 01 mostra uma linha de alta tensão paralela a uma tubulação que será enterrada e a Figura 02 mostra o efeito indutivo.

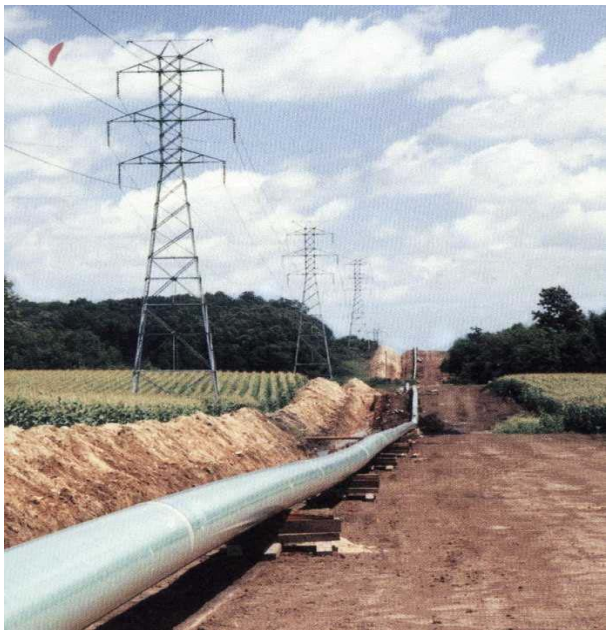


Fig. 01 – Tubulação Paralela a uma Linha de Alta Tensão

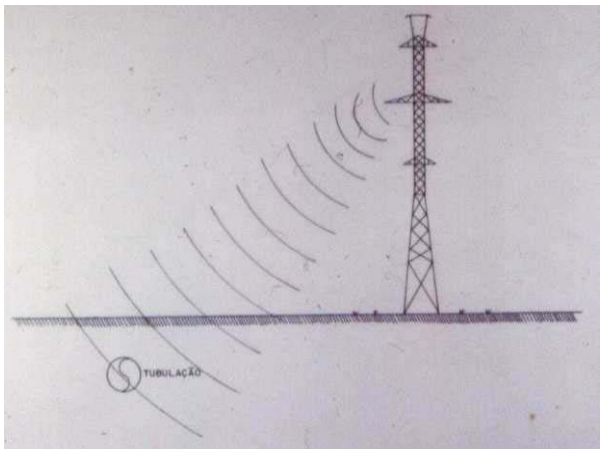


Fig. 02 – Tubulação Paralela a uma Linha de Alta Tensão sob o Efeito Indutivo

As tubulações enterradas tanto para o efeito das correntes de condução quanto para o de indução precisam estar aterradas, para que os potenciais gerados sejam de pequena monta, porém com os revestimentos de alta eficiência, mormente em tubulações de pequeno diâmetro e de pouca extensão a resistência de aterramento é muito elevada.

3. REVESTIMENTOS ANTICORROSIVOS

Os revestimentos anticorrosivos influem diretamente no aterramento dos dutos. Nos revestimentos antigos, de mais baixa eficiência, este aterramento ocorria de uma forma mais tranqüila, o que não ocorre nos revestimentos modernos de mais alta eficiência onde a resistência de aterramento é muito mais elevada. Abaixo apresentamos os revestimentos e suas características principais.

3.1 Revestimentos Mais Antigos

- **Revestimentos com Esmalte de Alcatrão de Hulha (coal-tar) e com Asfalto**:

É aplicado em duas espessuras, uma de 3 a 5 mm, chamada revestimento simples, e outra, de 6 a 8 mm, chamado de revestimento duplo.

O revestimento simples é usado, de modo geral, em meios de alta a média resistividade (solos pouco corrosivos – SPC e solos corrosivos - SCO), e duplo em eletrólitos altamente agressivos, por exemplo, mangues, solos muito ácidos, solo de baixa resistividade, etc. (solos muito corrosivos – SMC) e em condições severas de correntes de interferência. As eficiências destes revestimentos podem ser vistas na Tabela 01.

- **Fitas Plásticas**

Este revestimento é composto por três camadas; a primeira é um primer de aderência, posteriormente uma fita helicoidal e depois uma fita de proteção mecânica.

É utilizado basicamente para revestimento de tubulações de pequenos diâmetros em áreas industriais. As eficiências destes revestimentos podem ser vistas na Tabela 01.

- **Revestimentos com Tintas Líquidas**

Este revestimento é obtido pela aplicação de uma ou mais demãos de tintas, em geral epóxi de alta espessura, tem sua aplicação muito freqüente na área de saneamento, para revestimento de adutoras. É um revestimento de pouca resistência à abrasão e por esta razão sofre muitos danos mecânicos durante o lançamento dos tubos e tendo a eficiência muito diminuída e difícil de ser estimada. As eficiências destes revestimentos podem ser vistas na Tabela 01.

- **Espuma de Poliuretana**

É um revestimento de alta espessura que combina a proteção anticorrosiva com o isolamento térmico, é usado, portanto para tubulações com fluidos quentes ou frios.

Seu grande inconveniente é a falta de aderência o que propicia a percolagem de água por baixo do revestimento e o conseqüente desenvolvimento de processo corrosivo. Para superar este inconveniente deve-se especificar um revestimento por tintas líquidas ou em pó com espessura mínima de 400 μm, sobre o tubo antes de aplicar a espuma. As eficiências destes revestimentos podem ser vistas na Tabela 01.

3.2 Revestimentos Modernos

- **Revestimentos com Tintas em Pó – Epóxi em Pó - FBE**

Trata-se de um revestimento aplicado por processo eletrostático, com tinta epóxi em pó, possui espessura superior a 400 μm. Tem razoável resistência à abrasão. As eficiências destes revestimentos podem ser vistas na Tabela 01.

- **Revestimentos com Polietileno e Polipropileno**

Trata-se de revestimentos aplicados por processo de extrusão. De um modo geral são revestimentos altamente resistivos, mas que apresentam alguma dificuldade de aderência. As eficiências destes revestimentos podem ser vistas na Tabela 01.

- **Revestimentos e eficiências**

A Tabela 01 mostra para os revestimentos mencionados as eficiências esperadas.

Tabela 01 - Revestimentos e eficiências

Tipo		Eficiência (em %)	Juntas de Campo
Betuminosos	Asfalto	Ei = 90 Ef = 75	Asfalto
	Piche	Ei = 95 Ef = 90	Piche
Fitas Plásticas (Camadas)	Simples	Ei = 50 Ef = 40	Fitas Plásticas
	Dupla	Ei = 60 Ef = 50	Fitas Plásticas
	Tripla	Ei = 70 Ef = 60	Fitas Plásticas
Tintas Líquidas*	400 μm	Ei = 70 Ef = 60	Tintas Líquidas
	> 600 μm	Ei = 75 Ef = 70	Tintas Líquidas
Espuma de Poliuretano		Ei = 98 Ef = 95	Manta Termo-contrátil
Epóxi em Pó (FBE)		Ei = 98 Ef = 95	Manta Termo-contrátil
Polietileno/ Polipropileno	Simples	Ei = 99 Ef = 97	Manta Termo-contrátil
	Tripla Camada	Ei =99,2 Ef = 97,5	Manta Termo-contrátil

Notas:

1. Ei é a eficiência inicial e Ef é a final.

2. Estas eficiências são para as tintas líquidas tradicionais. Para as novas tintas líquidas de alta resistência à abrasão as eficiências deverão ser superior a 85% para espessuras acima de 400 μm e superior a 90% para espessuras acima de 600 μm, tanto a inicial quanto a final.

Além da melhor qualidade dos revestimentos alguns fatores têm contribuído para maior eficiência, entre os quais se destaca:

- Transporte mais adequado dos tubos reduzindo-se os danos mecânicos;

- Rigoroso controle de qualidade na aplicação dos revestimentos tanto em fábrica quanto no campo;

- Verificação e recuperação de falhas após o lançamento na vala através de técnicas de inspeção, tais como: Pearson, DCVG, PCM, Passo-a-passo;

- Mantas termocontráteis nas juntas de campo, proporcionando eficiência idêntica no corpo do tubo e na junta de campo.

4. PROBLEMAS CAUSADOS POR INTERFERÊNCIA DE CORRENTES ALTERNADAS

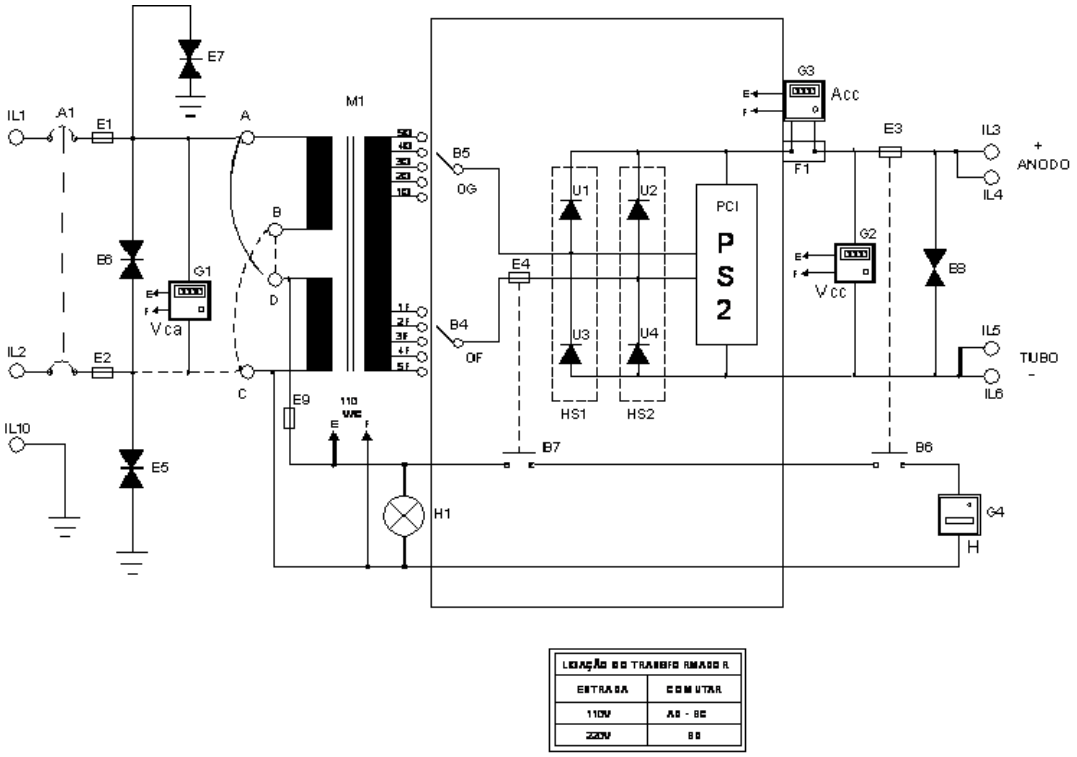
As correntes induzidas e conduzidas de alta tensão podem provocar danos ao revestimento, rompimento do tubo ou mesmo afetar a segurança operacional.

As correntes de alta intensidade, com densidade superior a 100 A/m^2 podem provocar processos corrosivos como indica a norma ISO 15589-1.

As correntes induzidas de caráter permanente devem ser controladas para não produzirem uma tensão de toque superior a 15 V como determina o documento NACE – SP0177-2007 e ainda para evitar que a retificação de tensão armazenada no duto causando injeção de corrente involuntária pelos retificadores.

4.1 A Retificação da Corrente de Injeção

O circuito tradicional de um retificador usado em proteção catódica está mostrado na Figura 03.



LIGAÇÃO DO TRANSFORMADOR	
ENTRADA	COMUTAR
110V	A0 - B0
220V	B0

Fig. 03 - Circuito de um Retificador de Proteção Catódica

As Figuras 04 e 05 mostram o fluxo da corrente da operação normal de um retificador nos ciclo positivo e negativo da onda de tensão, bem como a onda de tensão resultante da retificação.

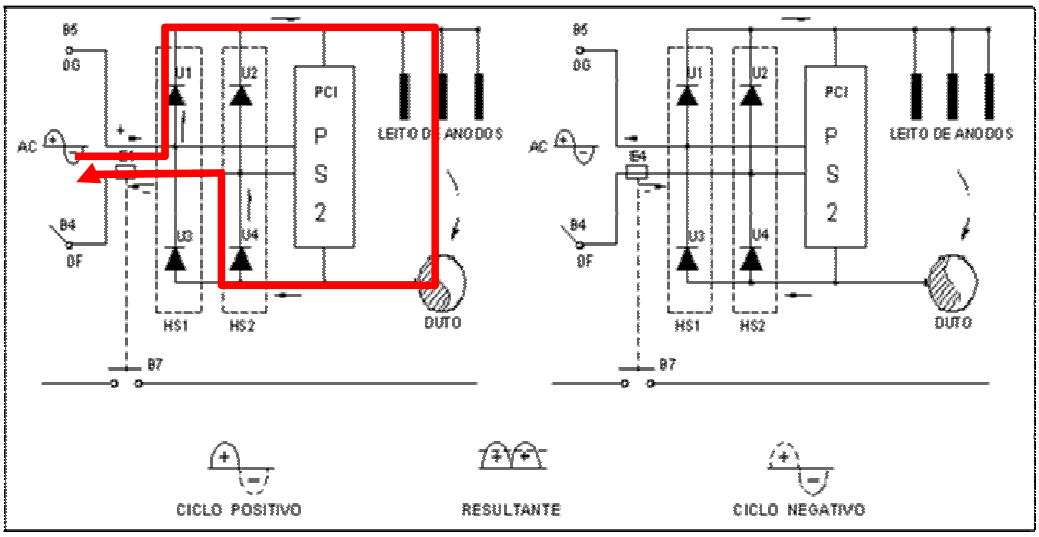


Fig. 04 - Fluxo da Corrente no Ciclo Positivo

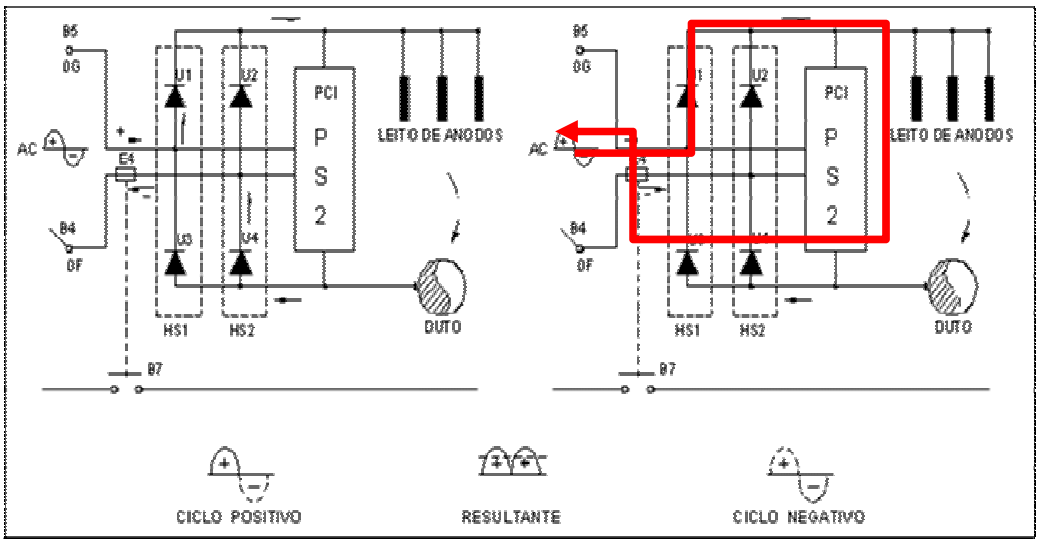


Fig. 05 - Fluxo da Corrente no Ciclo Negativo

4.2 A Retificação da Corrente de Indução no Duto

O circuito de corrente a partir da corrente induzida no duto bem como sua onda resultante podem ser vistas na Figura 06.

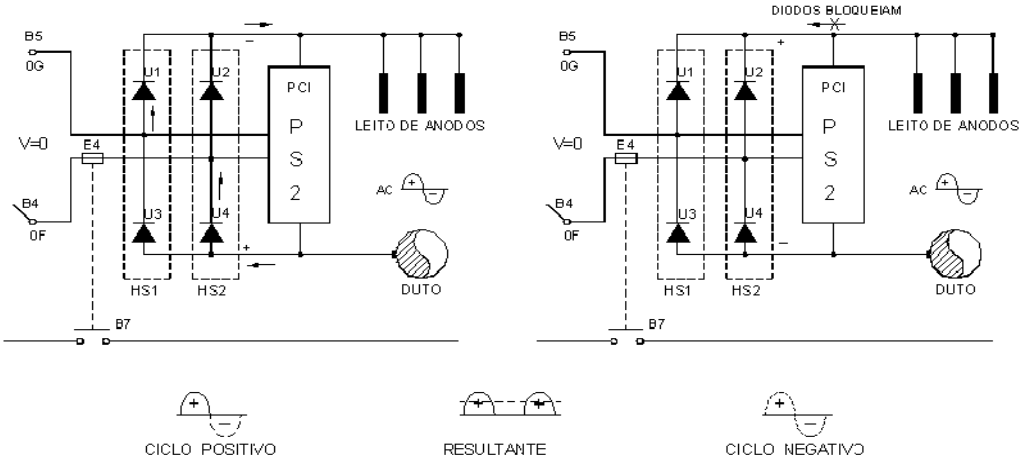


Fig. 06 – Circuito de Retificação da Corrente Induzida no Duto

As Figuras 07 e 08 mostram o fluxo da corrente formada a partir da tensão induzida no duto nos ciclo positivo e negativo.

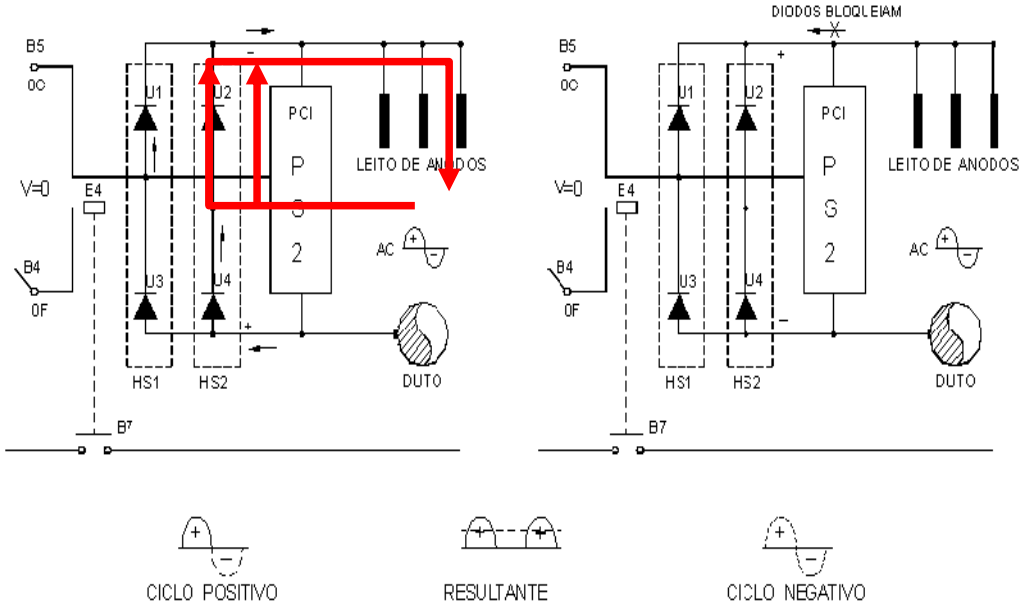


Fig. 07 – Circuito de Retificação da Corrente Induzida no Duto no Ciclo Positivo

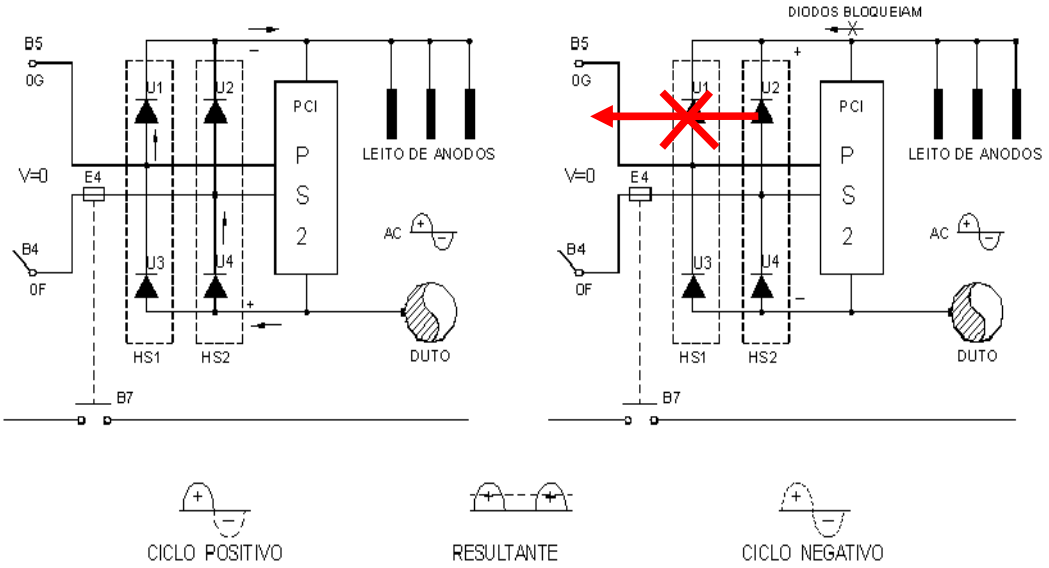


Fig. 08 – Circuito de Retificação da Corrente Induzida no Duto no Ciclo Negativo

4.3 Corrente Injetada Involuntariamente no Duto

A partir desta corrente retificada mostrada na Fig. 07 surge uma corrente pulsante capaz de polarizar a estrutura. No exemplo acima o retificador está com tensão de alimentação zero, porém quando alimentamos o retificador, a tensão resultante será pulsante e de amplitude variável equivalente à tensão de alimentação transformada no retificador menos a tensão induzida no duto.

Como a maior parte dos dutos novos necessita de correntes muito baixas, estas tensões resultantes geram correntes superiores à necessidade do duto e podem ocasionar potenciais mais negativos e muitas vezes muito negativos, principalmente nos dutos com os revestimentos de alta eficiência.

4.4 Observações de Campo

De uma forma ainda preliminar foram efetuadas medições de campo que ilustram estes potenciais de polarização obtidos a partir destas correntes injetadas involuntariamente no duto.

Um exemplo desta influência pode ser vista no registro de potencial da Figura 09 onde se mostra a influência das correntes induzidas e retificadas em um duto. A partir de 13:30 horas o cabo negativo do retificador foi desconectado tornando o potencial da ordem de 0,3 V mais positivo. A elevação do potencial era provocada pela corrente injetada pelos sistemas de corrente alternada.

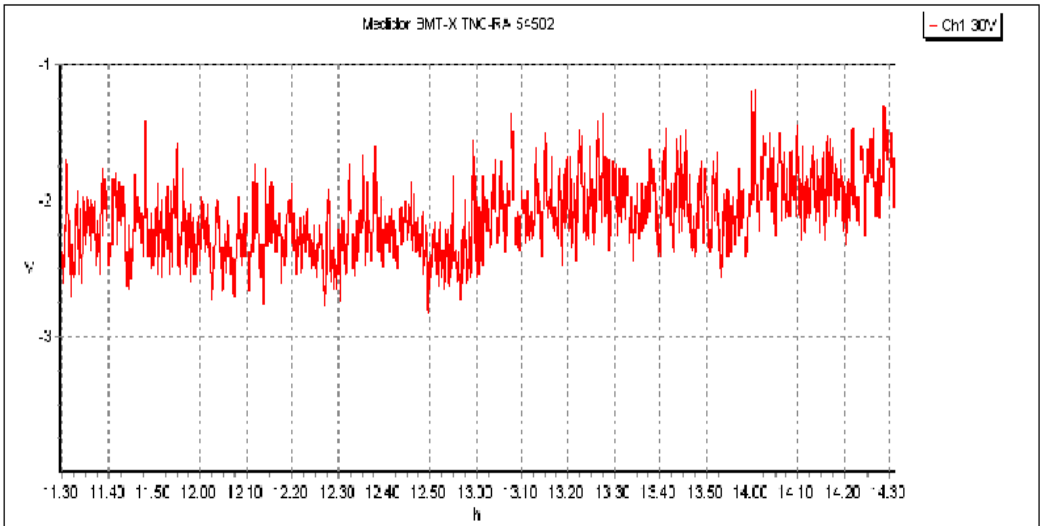


Fig. 09 – Registro de Potencial Tubo/Solo com Retificador Desligado e o Cabo Negativo Desconectado a Partir de 13h30min

Outro exemplo desta influência pode ser vista no registro da Figura 10 onde se mostra a influência das correntes induzidas e retificadas em um duto. A partir de 13:00 horas o cabo negativo do retificador foi desconectado tornando o potencial dêem torno de 1,0 V mais positivo. A elevação do potencial no campo negativo era provocada pela corrente injetada pelos sistemas de corrente alternada.

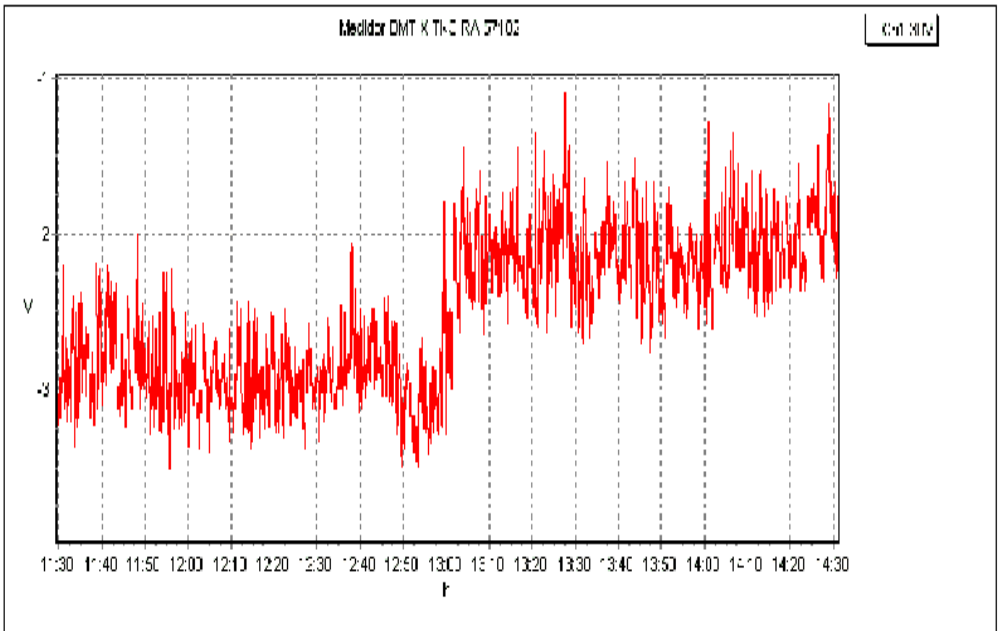


Fig. 10 – Registro de Potencial Tubo/Solo com Retificador Desligado e o Cabo Negativo Desconectado a Partir de 13h30min

5. MEDIDAS MITIGADORAS

Os especialistas em proteção anticorrosiva de dutos têm procurado soluções para estes problemas. Dentre elas pode-se destacar:

- Aterramento do duto – esta solução isolada prejudicaria os níveis de potencial conferidos pelo sistema de proteção catódica;
- Utilizar drenagem de corrente para aterramentos através de diodos – pequenas reduções no nível de tensões em correntes alternadas induzidas, com a utilização dessa alternativa, têm como conseqüência potenciais excessivamente negativos;
- Injetar corrente adicional – esta alternativa diminui um pouco o nível de tensão da corrente alternada induzida, dá uma relativa estabilizada nos potenciais em corrente contínua, mas constitui mais uma fonte de corrente retificada não controlável, e torna os potenciais locais muito negativos;
- Diminuir os parâmetros de saída dos retificadores – é uma alternativa que reduz os potenciais, entretanto como a corrente retificada não é controlável o duto poderá ficar desprotegido em alguns períodos**;**
- Aterrar o duto através de Células de Polarização ou Desacopladores (*Decouplers*) – esta solução tem se mostrado a mais eficaz, pois esses dispositivos oferecem através de um acoplamento capacitivo entre o duto e o aterramento. Um circuito de baixa impedância para correntes alternadas e de alta impedância para correntes contínuas, bloqueando assim, a corrente contínua de proteção catódica e aterrando o duto para correntes alternadas**;**
- Utilização de cupons para monitorar corrosão e potenciais devido à corrente alternada – é um recurso de acompanhamento de eventuais desgastes em face do fluxo de corrente alternada. As sondas de resistência elétrica podem ser utilizadas por darem respostas mais rápidas. A Figura 11 mostra um esquema de utilização de cupons.

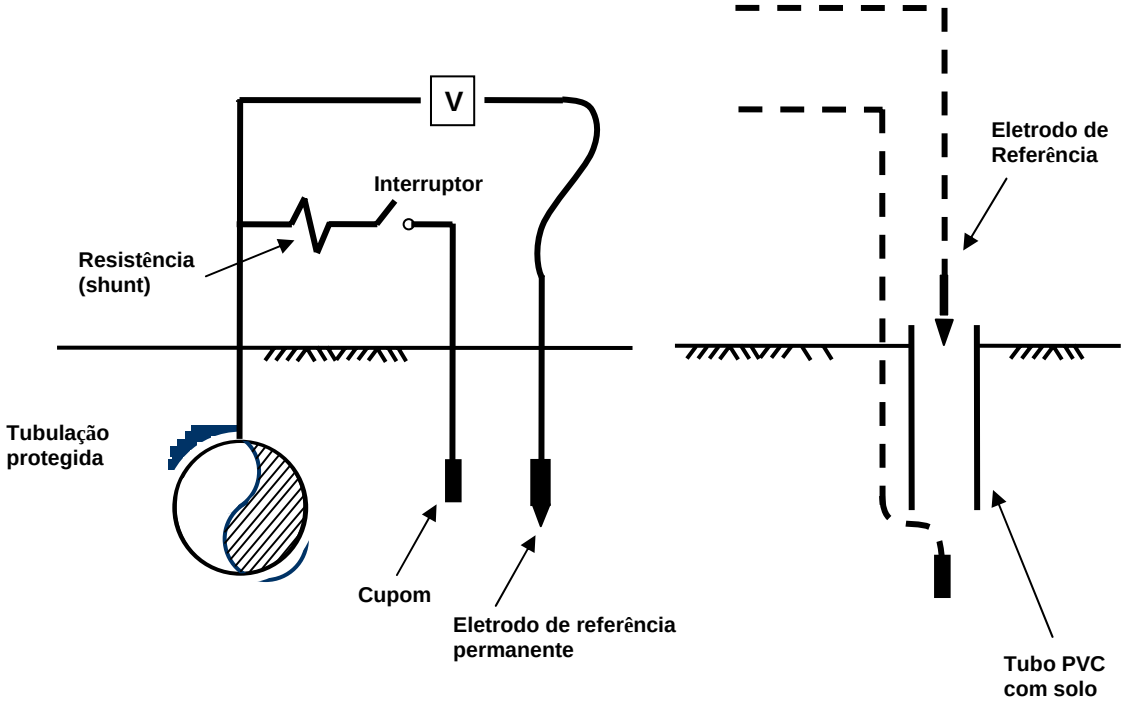


Fig. 11 - Cupons para Monitorar Corrosão por Corrente Alternada

A Figura 12 mostra um registro de potencial tubo/solo onde diversas alternativas foram utilizadas:

- De 14h10min as 14h20min foi feita uma injeção de corrente;
- De 14h25min as 14h30min foi feita um aterramento com uso de diodo;

- De 14h45min as 14h55min foi feito um aterramento com o uso de desacopladores.

No registro pode-se observar a redução significativa dos potenciais em corrente alternada e a estabilização do potencial de proteção com uso de aterramento e desacopladores.

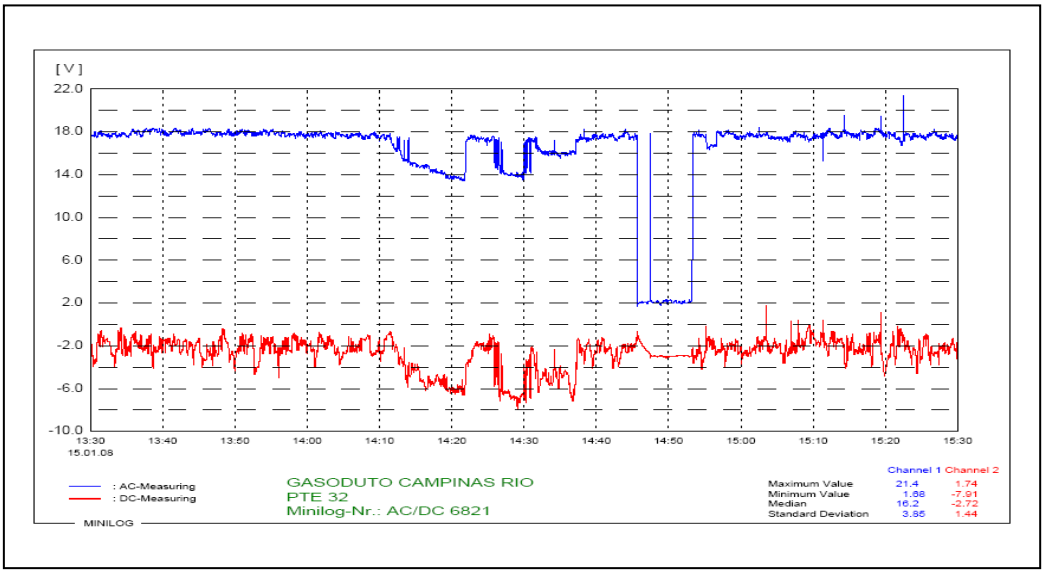


Figura 12 - Registro de Potenciais Tubo/Solo com Diversas Medidas Mitigadoras de Corrente Alternada

A Figura 13 mostra a importância da baixa resistência do aterramento na efetividade da atenuação da influência das correntes alternadas sobre os dutos com o uso dos desacopladores. Neste ensaio a cada meia hora foi-se aumentando o número de hastes de aterramento e com se observa no gráfico os potenciais foram se tornando mais estáveis.

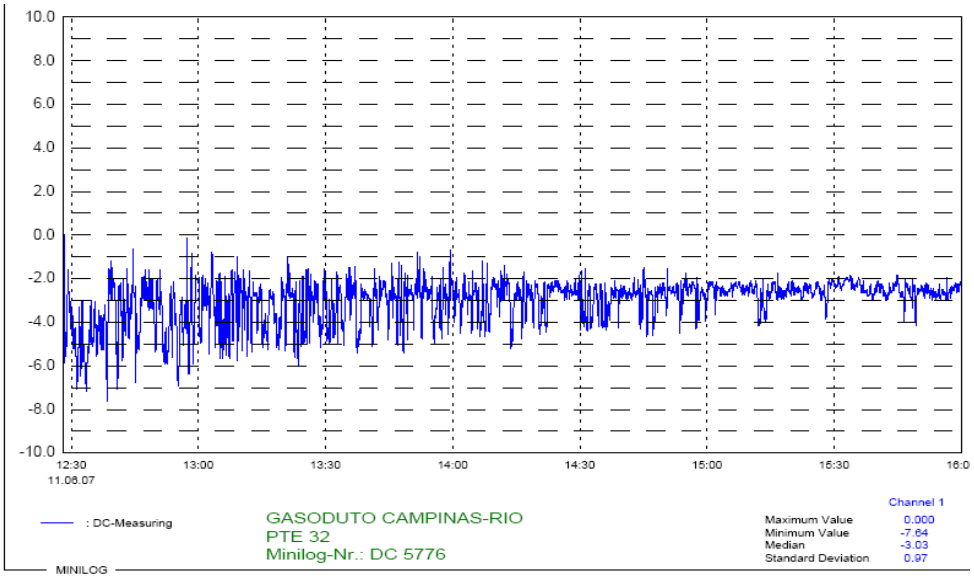


Figura 13 - Registro de Potenciais Tubo/Solo com Desacopladores e com Variação Decrescente da Resistência de Aterramento

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os estudos efetuados ainda são preliminares, porém observa-se que as influências das correntes alternadas são importantes e podem afetar os dutos enterrados de três formas:

- Gerando potenciais elevados devido a correntes de condução e/ou indução em face de defeitos na rede. Estes potenciais podem romper revestimentos, furar o duto, danificar juntas isolantes e equipamentos do sistema de proteção catódica;

- Gerando correntes e potenciais de baixa tensão que podem ser retificadas no sistema de proteção catódica e provocar interferências nos mesmos;

- Gerando densidades de corrente elevadas que possam provocar corrosão.

Os problemas citados acima se tornam mais significativos com os modernos revestimentos de alta eficiência que prejudicam o aterramento do duto.

As correntes alternadas de baixa tensão são retificadas no sistema de proteção catódica e provocam interferência devido à corrente pulsante, muito semelhante àquelas já conhecidas, provocadas por corrente contínua de sistemas eletrificados de tração.

As medidas mitigadoras reduzem os efeitos, porém a mais eficaz é o aterramento com o uso de desacopladores, o seja, com um aterramento efetivo desacoplado do duto tem-se o fluxo das correntes alternadas e bloqueia-se as correntes contínuas do sistema de proteção catódica.

7. CONCLUSÕES

Em face do exposto pode-se concluir:

- Os projetistas de duto devem considerar como importantes os cruzamentos e paralelismo com linhas de alta tensão;
- Os especialistas em corrosão de dutos devem preocupar-se com a interferência de corrente alternada retificada no sistema de proteção catódica;
- Apesar dos estudos serem ainda preliminares, ao que tudo indica a solução mais eficaz é o aterramento com desacopladores;
- Os estudos necessitam ser continuados para uma melhor avaliação do fenômeno.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gentil, Vicente – Corrosão. 4ª edição, Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2003.

Panossian, Zehbour - **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. 1ª ed. São Paulo: Institutos de Pesquisas Tecnológicas, 1993.2 v.

Serra - **E.T. Corrosão e Proteção Anticorrosiva dos Metais no Solo**. CEPEL, Rio de Janeiro, 2006.

Nunes, Laerce P., Lobo, Alfredo C. – **Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva**. Rio de Janeiro, editora Interciência, 1998.

Dutra, Aldo C., Nunes, Laerce P - **Proteção Catódica – Técnica de Combate à Corrosão**. Ed. Interciência, 4ª ed., Rio de Janeiro, 2006.

Nunes, Laerce P., Gomes, Luiz P. - **Revestimentos para superfícies em contato com a água – uma abordagem de projeto**- Latincorr – ABRACO-Fortaleza, 2006.

Nunes, Laerce P., Gomes, Luiz P. - **Revestimentos para tubulações enterradas – uma abordagem de projeto**-Rio Pipeline-IBP-Rio de Janeiro, 2005.

Gomes, Luiz P. – **Proteção Catódica** – IEC – Rio de Janeiro 1982.

Norma ISO 15589-1 – **Petroleum and Natural Gas Industries – Cathodic Protection of Pipeline Transportation Systems** – Part 1 – On-land Pipelines – First Edition – 15/11/2003.

Norma Nace SP 0177-2007 – **"Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures".**