

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).

**Descolamento de revestimento de polietileno tripla camada:
influência do tipo de solo e potencial aplicado**
Denise S. de Freitas^a, Simone L. D. C. Brasil^b, Gustavo Xanchão^c,
Eduardo G. B. Leite^c, Jorge F. P. Coelho^d

Abstract

Polyethylene three layer coatings (PE3L) have been used very often in new pipelines and in sections of old pipes where it should be partially substitute. The cathodic protection current applied in pipelines is deeply influenced for the type of coating and coating efficiency. As PE3L is a high efficiency coating is expected that the presence of punctual failures lead to a very high cathodic potentials that, in accordance with literature, could cause disbonding in the coating. In this study, it is presented results of tests with over a year time, where pipes coated with PE3L were put under different potentials and in two types of soil. The presence of coal tar in the same pipe with PE3L was also considered, to represent the practical situation where sections of old pipes are replaced. To simulate cases of section of pipe replaced it was used pipes coated with a low efficiency coating, coal tar epoxy. Despite cathodic disbondment is attributed to very high cathodic potentials, in this study was observed that is possible to find delamination in PE3L under normal cathodic protect potentials depending on soil aggressiveness.

Keywords: cathodic disbondment, PE3L, cathodic protection

Resumo

Revestimento de polietileno tripla camada (PE3L) tem sido adotado com frequência em dutos novos e em trechos onde dutos antigos devem ser substituídos parcialmente. A corrente de proteção catódica aplicada a dutos enterrados é significativamente influenciada pelo tipo de solo e pela eficiência do revestimento protetor. Sendo o PE3L um revestimento de alta eficiência, é esperado que a presença de possíveis falhas pontuais leve o potencial a valores muito catódicos que, segundo a literatura especializada, poderia causar descolamento do revestimento. Nesse trabalho, são apresentados os resultados de ensaios com duração de mais de um ano, onde tubos revestidos com PE3L foram submetidos a diferentes potenciais e dois tipos de solos. Foi também considerada a presença de coaltar em um mesmo duto com PE3L, de forma a representar a situação prática onde trechos de dutos antigos são substituídos. Apesar do descolamento catódico ser, em geral, atribuído aos casos onde potenciais extremamente catódicos são aplicados, nesse estudo foi observado que é possível haver descolamento de PE3L em potenciais em nível de proteção catódica, dependendo do nível de agressividade do solo.

^a Ph.D., Engenheira de Corrosão - Instituto Nacional de Tecnologia

^b D.Sc. Engenheira Química - Escola de Química/Universidade Federal do Rio de Janeiro

^c Engenheiro Química - Instituto Nacional de Tecnologia

^d Engenheiro - Petrobras

Keywords: descolamento catódico, polietileno tripla camada, proteção catódica.

Introdução

Visando garantir o controle da corrosão de dutos enterrados, é necessário avaliar continuamente os processos de deterioração dos revestimentos protetores e o desempenho dos sistemas de proteção catódica. Neste contexto, é relevante o estudo dos fatores que podem contribuir diretamente para a degradação e/ou descolamento dos revestimentos externos de dutos protegidos catodicamente, analisando suas consequências.

Processos corrosivos em tubulações enterradas ocorrem em função da degradação dos revestimentos por envelhecimento natural ou, ainda, por danos durante o transporte e a instalação. Sendo assim, ao longo da operação de um duto, é comum a necessidade de substituição parcial de trechos onde o revestimento apresenta algum tipo de dano. Nos dutos novos e nos trechos de dutos antigos parcialmente substituídos, têm sido aplicados revestimentos de alto desempenho, garantindo excelente eficiência. Como exemplo de revestimento de alto desempenho pode-se citar o *polietileno tripla camada (PE3L)*.

Um aspecto a ser avaliado é a possibilidade de ocorrência de falhas nos revestimentos de alto desempenho, acarretando um alto nível de densidade de corrente, em especial próximo a retificadores. Este fato também pode estar relacionado à presença de trechos com revestimentos novos em dutos antigos. Uma das possíveis consequências nesse caso, seria a superproteção que poderia levar à ocorrência de descolamento catódico do revestimento em regiões de falhas. Na literatura já foram reportadas algumas ocorrências deste processo em dutos enterrados com revestimentos de alta qualidade ^[1-3].

Alguns fatores influenciam o processo de descolamento catódico como, por exemplo, a formação de um meio altamente alcalino na interface metal/revestimento, a resistividade do solo, umidade, disponibilidade de oxigênio e dimensões das falhas no revestimento ^[4,5].

Estudos prévios mostraram a influência do excesso de proteção catódica no processo de descolamento catódico, através de ensaios laboratoriais e simulação numérica ^[6-12]. Em tais estudos ficou evidenciada a possibilidade de ocorrerem potenciais extremamente catódicos em falhas de revestimentos que contribuiriam para o processo de descolamento.

Os ensaios em campo controlado realizados no escopo do presente projeto visaram verificar a influência de fatores como resistividade e corrosividade do solo, potencial de proteção catódica aplicado e condições do revestimento protetor.

Metodologia

Tubos de 6" de diâmetro e 1.5m de comprimento foram revestidos com coaltar e polietileno tripla camada (PE3L) com diferentes arranjos. De modo a avaliar a influência destes revestimentos nos parâmetros de proteção catódica, dois segmentos de 75mm foram soldados de modo que as juntas fossem revestidas com tipos diferentes de mantas termo-contráteis. O tipo de mantas aplicadas na junta soldada são dependentes do tipo de revestimento base.

Os tubos foram então colocados em caixas de madeira (1,70 x 0,70 x 0,90 m), preenchidas com solos procedentes de uma área rural (Cachoeira de Macacu) e de uma área industrial (Campos Elíseos) ambos do Rio de Janeiro, Brasil.

Os parâmetros analisados neste estudo foram a resistividade do solo e o potencial aplicado: -0,85 $V_{Cu/CuSO_4}$, -1.1 $V_{Cu/CuSO_4}$ e -1.5 $V_{Cu/CuSO_4}$. Os revestimentos aplicados nos tubos foram: coaltar e PE3L e as mantas termocontráteis foram WTC 170-500 BK (*Mastic*) e GTS 65 170-500 BK (*Hotmelt*).

De modo a aplicar a corrente catódica requerida em função deste parâmetros, sistemas independentes de proteção catódica foram colocados nos tubos, em um total de vinte e quatro conjuntos de tubos/caixas/PC. Cada sistema era composto de um anodo de titânio, um eletrodo de referencia ($ZnSO_4$) e um cupom, simulando uma falha na tubulação e conectado ao tubo para monitoração do potencial eletroquímico. A corrente dos 24 sistemas independentes foi aplicada de modo a manter o potencial em um valor específico, incluindo valores catódicos elevados que poderiam causar descolamento progressivo do revestimento da superfície do metal. Os sistemas foram monitorados automaticamente e os valores de corrente em função do revestimento, do tipo de solo e do potencial aplicado são apresentados neste trabalho.

A Figura 1 apresenta a configuração esquemática dos tubos revestidos com polietileno tripla camada (PE3L) e coaltar. As 12 configurações apresentadas nesta figura são as mesmas para ambos os solos.

Apesar dos tubos revestidos por coaltar usados neste estudo serem antigos, eles não foram usados previamente. É importante mencionar que hoje em dia a legislação brasileira não permite este tipo de revestimento.

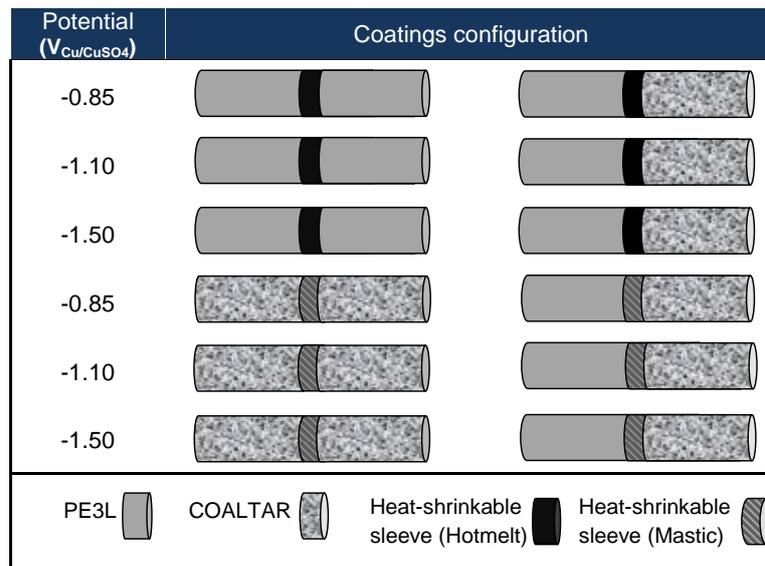


Figura 1. Arranjo dos revestimentos dos tubos e o potencial aplicado que foram colocados dentro das caixas para cada tipo de solo.

A Figura 2 mostra a dimensão dos tubos utilizados e a representação esquemática das mantas termocontráteis aplicadas nas juntas soldadas. Os tubos foram colocados em caixas, como pode ser observado na Figura 3, incluindo as dimensões.

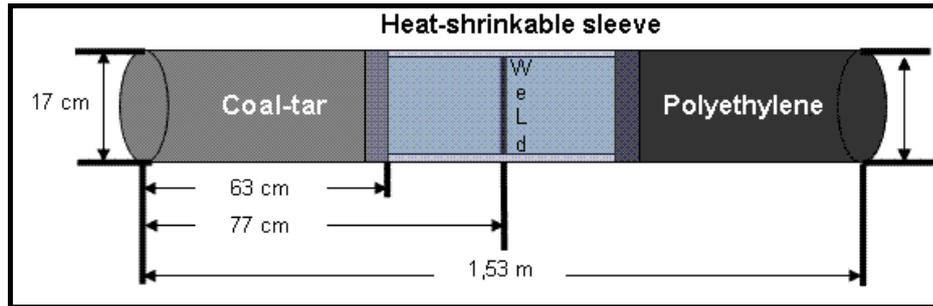
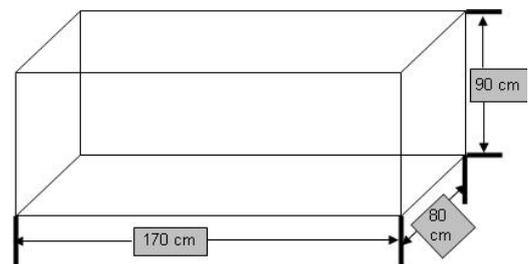


Figura 2. Dimensão dos tubos



(a)



(b)

Figura 3. Montagem dos experimentos (a) e dimensões da caixa (b)

Os 24 sistemas de proteção catódica tiveram uma fonte independente de corrente e de aquisição de dados (potencial e corrente). A Figura 4 mostra o painel de controle onde potencial e corrente puderam ser monitorados. Dependendo do potencial medido, a corrente era ajustada para que o valor fosse mantido na faixa definida neste estudo (-0.850, -1.1 e 1.5 $V_{Cu/CuSO_4}$).

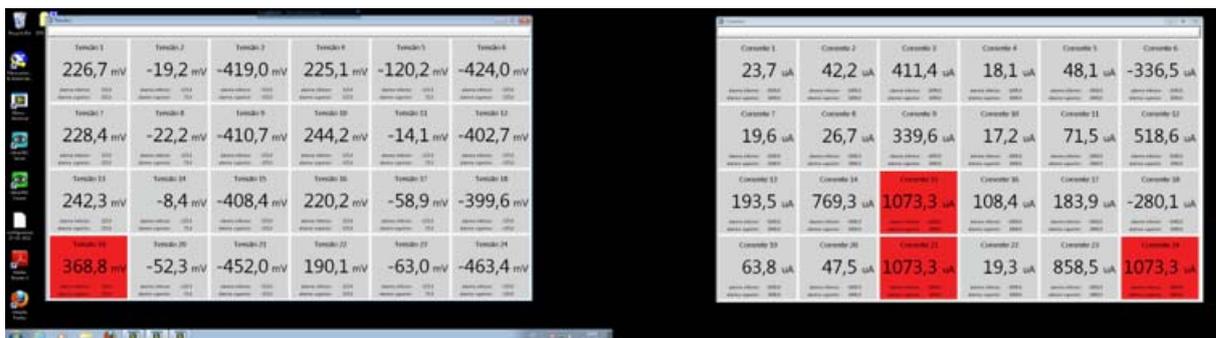


Figura 4. Sistema de aquisição de potencial e corrente

Para simulação de falha no revestimento, cada sistema possui um cupom de aço carbono acoplado ao tubo e distante do anodo. Esse cupom é denominado de *cupom padrão*, tendo em vista o sistema ser ajustado em função do seu valor de potencial. A posição do cupom, o mais afastado do anodo possível, foi definida de modo a garantir que o todo o tubo se mantenha, no

mínimo, no potencial medido. Para a monitoração do potencial, um eletrodo de referência permanente de $Zn/ZnSO_4$ (Figura 5) foi posicionado o mais próximo possível do cupom padrão, de forma a minimizar a queda ôhmica nas medidas. O potencial do cupom foi medido e a corrente aplicada foi ajustada manualmente, quando necessário.



Figura 5. Cupom padrão conectado ao eletrodo de referência permanente $Zn/ZnSO_4$.

Para avaliar a influência do tipo de solo, do potencial aplicado e do tipo de revestimento nos processos de descolamento catódico, foram feitas falhas nas diretrizes 0, 90, 180 e 270° nos revestimentos. Os padrões adotados são estabelecidos nas Normas CSA Z245.20-02: *External Fusion Bond Epoxy Coating for Steel Pipe* e CSA Z245.21-02: *External Polyethylene Coating for Pipe* onde falhas com 3 mm de diâmetro foram feitas no revestimento de coaltar e com 6mm nos revestimentos de polietileno tripla camada e nas mantas termocontráteis.

A Figura 6 mostra as conexões elétricas, incluindo o eletrodo de referência portátil, usado periodicamente para medir os potenciais das falhas introduzidas nos revestimentos. Estas falhas foram feitas de acordo com normas de testes de descolamento^[5,6].

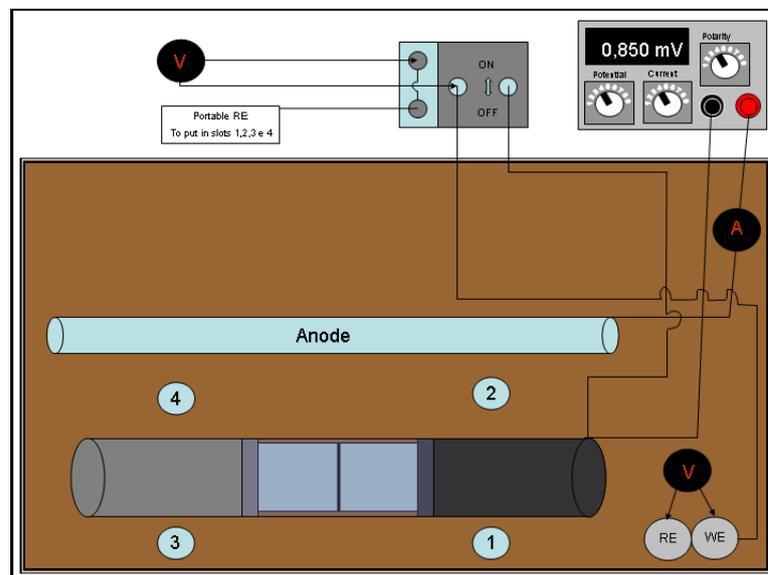
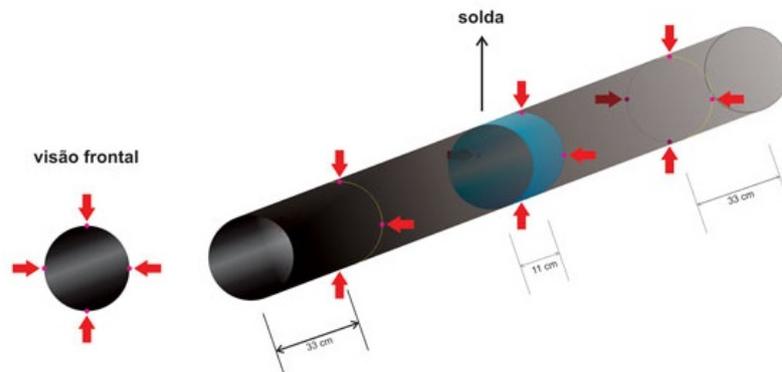


Figura 6. Conexões elétricas do sistema de proteção catódica

Para verificar o potencial nas falhas provocadas, foram realizadas medidas periódicas em quatro destas falhas (vide Figura 7). Para reduzir a queda ôhmica nas leituras de potencial,

tubos de PVC foram posicionados junto às falhas e os potenciais foram medidos com eletrodo de referência portátil de Cu/CuSO₄.

Após os ensaios, testes de descolamento catódico foram feitos em todas as falhas, como será visto no item de resultados.



Marcação dos tubos



Orientação dos furos



Diâmetro da falha – PE3L



Diâmetro da falha - Coaltar



Figura 7: Execução das falhas provocadas.

A Tabela 1 apresenta a descrição dos 24 sistemas, com a indicação dos revestimentos e potenciais aplicados.

Tabela 1 – Detalhamento dos sistemas analisados.

Caixas	REVESTIMENTO / MANTA	Potencial (mV _{Cu/CuSO₄})
1	PCW	-850
2	PCW	-1100
3	PCW	-1500
4	PCH	-850
5	PCH	-1100
6	PCH	-1500
7	CCW	-850
8	CCW	-1100
9	CCW	-1500
10	PPH	-850
11	PPH	-1100
12	PPH	-1500
13	PPH	-850
14	PPH	-1100
15	PPH	-1500
16	CCW	-850
17	CCW	-1100
18	CCW	-1500
19	PCW	-850
20	PCW	-1100
21	PCW	-1500
22	PCH	-850
23	PCH	-1100
24	PCH	-1500
P= PE3L C = COALTAR W= MASTIC H= HOTMELT		

Resultados e discussão

Nos ensaios foram utilizados tubos com diferentes revestimentos, expostos aos dois tipos de solos para avaliação do efeito da proteção catódica no descolamento de revestimentos.

Conforme apresentado na Figura 7, foram feitas falhas nos revestimentos para avaliação de processos de descolamento catódico. Após os ensaios, estas falhas provocadas foram novamente medidas para avaliação da perda de adesão e descolamento catódico.

Ao final do ensaio, os tubos foram retirados das caixas e foi procedida uma avaliação do revestimento através de *holiday detector* e análise de descolamento catódico seguindo a norma CSA Standard Z245.21-02, “*External Polyethylene Coating for Pipe*”, CSA, Nov 2002.

O descolamento do revestimento é indicado por uma marca de permeação claramente observada em alguns casos. Não é considerado descolamento onde, após o revestimento ser retirado por ação mecânica, não forem observadas marcas.

Marcas de descolamento foram verificadas através dos testes (vide Figura 8), onde a retirada do revestimento foi feita após ser feito um furo de 6mm (teste 1) ou sem qualquer furação prévia (teste 2). Em ambos os casos, foram feitas as ranhuras definidas na norma.

As Figuras 9 e 15 apresentam o registro visual de alguns dos ensaios de descolamento catódico após um período de, aproximadamente, 14 meses. São somente apresentados os resultados observados em alguns sistemas de forma a ser possível avaliar a influência seguintes parâmetros sobre o descolamento de PE3L: tipo de solo, potencial aplicado e tipo de revestimentos presentes.

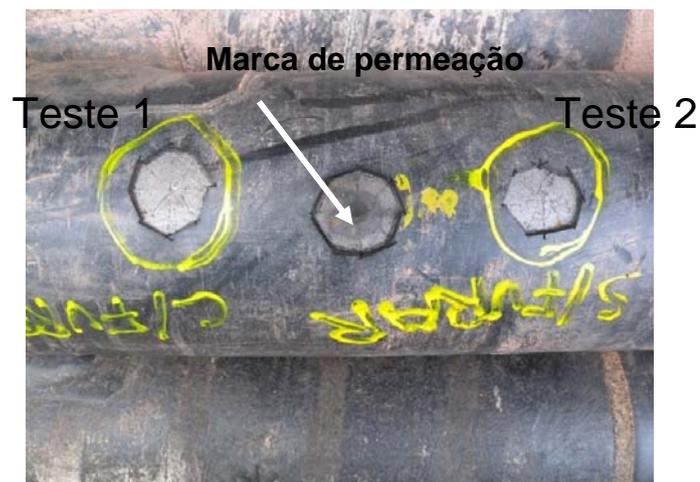
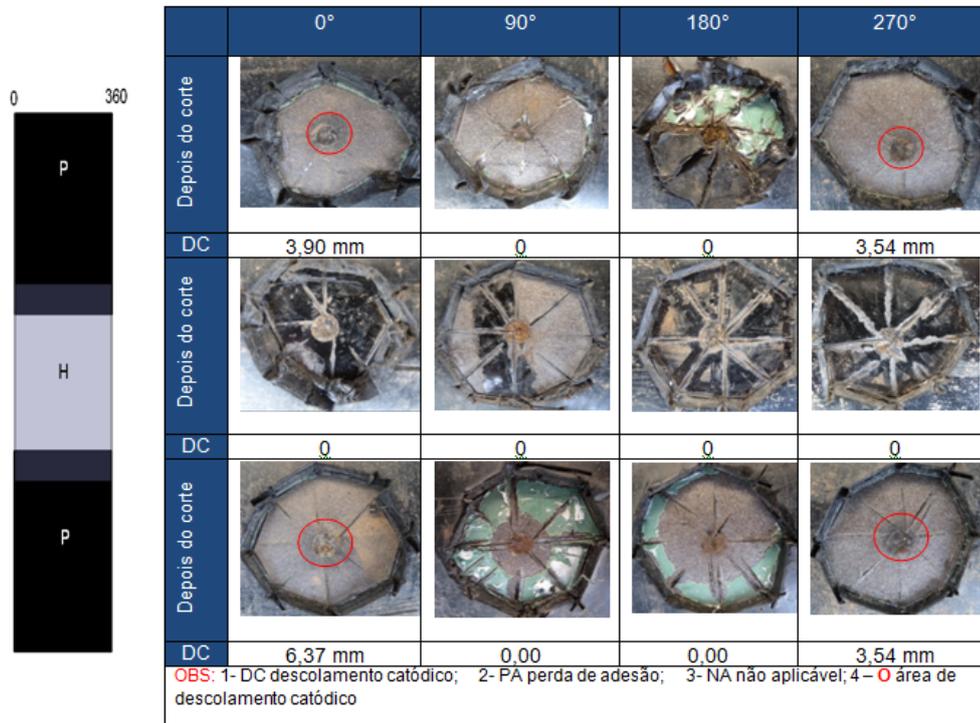


Figura 8 - Observação da marca de permeação após ensaio de descolamento catódico

TIPO DE SOLO:

A Figura 9 apresenta o descolamento observado nos sistemas 12 (SOLO 1) e 15 (SOLO 2), ambos sob as mesmas condições de revestimentos (PE3L/PE3L) e potencial aplicado ($-1500 \text{ mV}_{\text{Cu}/\text{CuSO}_4}$).

Caixa 12 – PPH3 (-1500 mV_{Cu/CuSO4})



Caixa 15 – PPH6 (-1500 mV_{Cu/CuSO4})

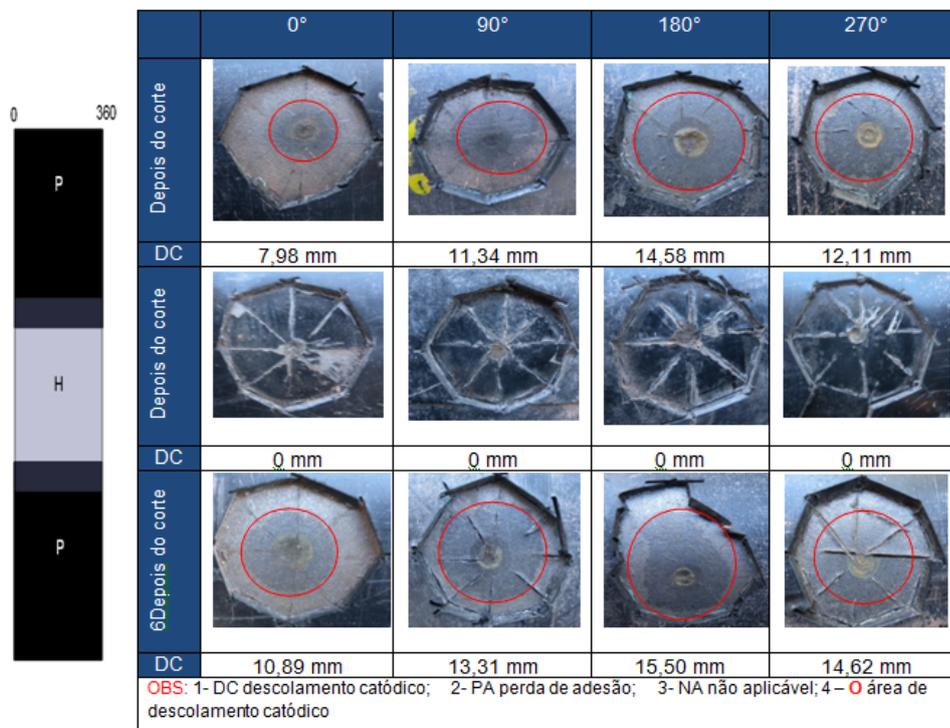


Figura 9: Comparação dos sistemas PE3L/PE3L em solos 1 e 2 sob potencial de -1500 mV_{Cu/CuSO4}.

POTENCIAL APLICADO:

A Figura 10 apresenta a comparação dos descolamentos observados no solo 2, considerando o mesmo tipo de revestimento (PE3L/PE3L), sob diferentes potenciais.

Caixa 13 – PPH4 (-850 mV_{Cu/CuSO4})

		0°	90°	180°	270°	
0	P	Depois do corte				
		DC	4,42 mm	0 mm	0 mm	3,39 mm
H	H	Depois do corte				
		DC	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
360	P	Depois do corte				
		DC	4,17mm	4,68 mm	0 mm	3,73 mm

OBS: 1- DC descolamento catódico; 2- PA perda de adesão; 3- NA não aplicável; 4- O área de descolamento catódico

Caixa 14 – PPH5 (-1100 mV_{Cu/CuSO4})

		0°	90°	180°	270°	
0	P	Depois do corte				
		DC	3,60 mm	4,72 mm	3,83 mm	0 mm
H	H	Depois do corte				
		DC	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
360	P	Depois do corte				
		DC	3,79 mm	4,30 mm	4,00 mm	2,47 mm

OBS: 1- DC descolamento catódico; 2- PA perda de adesão; 3- NA não aplicável; 4- O área de descolamento catódico

Caixa 15 – PPH6 (-1500 mV_{Cu/CuSO4})

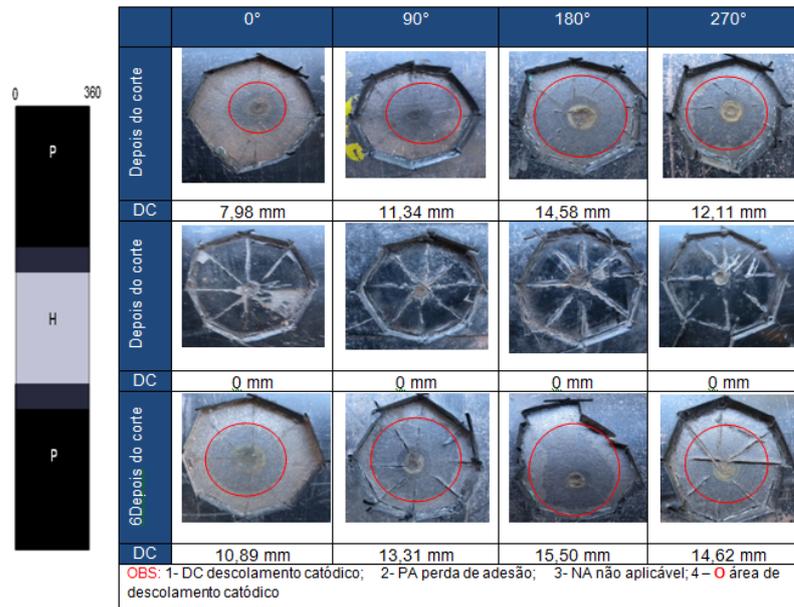
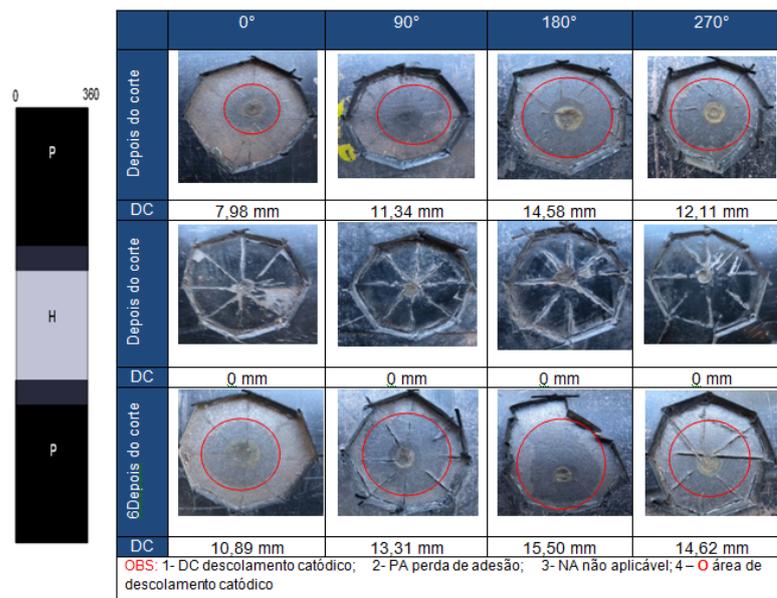


Figura 10: Comparação dos sistemas PE3L/PE3L no solo 2, sob diferentes potenciais aplicados.

TIPO DE REVESTIMENTO (PE3L/PE3L OU PE3L/coaltar):

A Figura 11 apresenta os descolamentos observados nos sistemas 15 e 21, sob potencial de -1500 mV_{Cu/CuSO4}, variando os revestimentos presentes.

Caixa 15 – PPH6 (-1500 mV_{Cu/CuSO4})



(a)

Caixa 21 – PCW6 (-1500 mV_{Cu/CuSO4})

	0°	90°	180°	270°
Depois do corte				
DC	5,85mm	0 mm	0 mm	6,64mm
Depois do corte				
DC	3,82 mm	0 mm	0 mm	11,16 mm
Depois do corte				
DC	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm

OBS: 1- DC descolamento catódico; 2- PA perda de adesão; 3- NA não aplicável; 4-  área de descolamento catódico

(b)

Figura 11- Descolamentos catódicos observados nos sistemas sob -1500 mV_{Cu/CuSO4}
(a) PE3L/PE3L; (b) PE3L/Coaltar

Os resultados dos descolamentos são apresentados em função do tipo de revestimento, do solo e dos potenciais aplicados nas Figuras 12 e uma visão geral do descolamento catódico para os revestimentos de Polietileno tripla camada é apresentada na Figura 13.

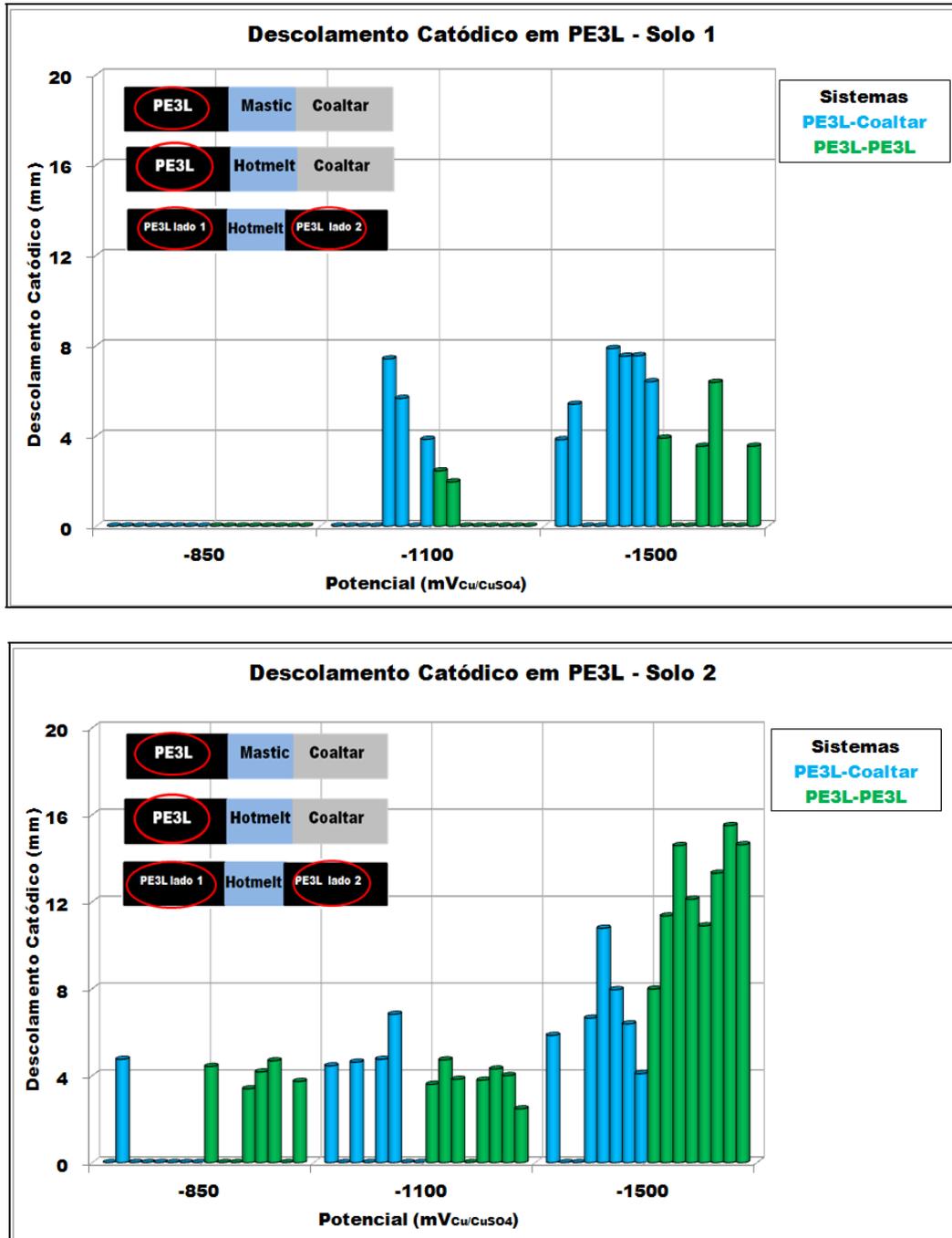


Figura 12- Visão geral dos descolamentos catódico observados em função do sistema de revestimento e tipo de solo sob potencial diferentes potenciais aplicados

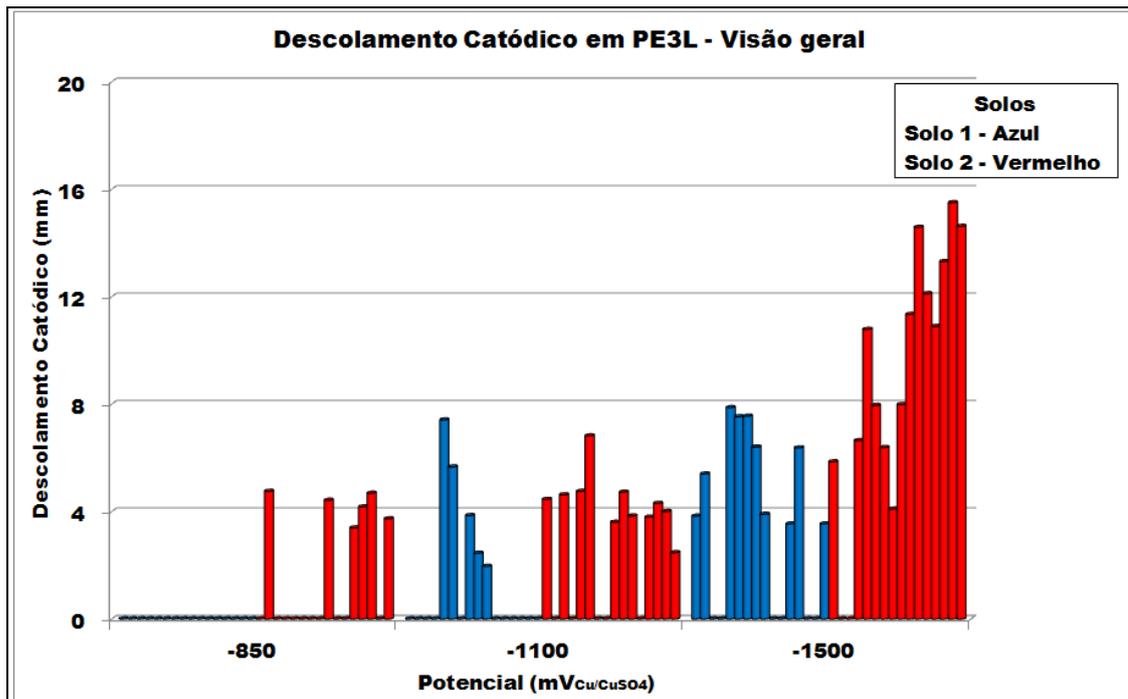


Figura 13 - Visão geral do descumolamento catódico para os revestimentos de Polietileno tripla camada.

Nos sistemas estudados, o descumolamento do PE3L foi relacionado com o potencial aplicado, porém não apresentou relação com o posicionamento do anodo dentro das caixas. Pelos gráficos das Figuras 12 e 13 pode ser observado que o descumolamento foi influenciado pelo tipo de solo, na seguinte relação: no solo de maior agressividade, o descumolamento ocorreu em maior número de casos e atingiu valores mais elevados em potenciais mais catódicos.

Outra observação interessante foi que o descumolamento do polietileno tripla camada ficou acima do limite crítico (norma) em sistemas onde somente este tipo de revestimento estava presente. Os maiores descumolamentos ocorreram no solo 2 em sistema PE3L/PE3L.

A seguir é apresentado um gráfico comparativo (Figura 14) considerando o potencial em que foram observados os casos mais críticos de descumolamento catódico ($-1500\text{mV}_{\text{Cu/CuSO}_4}$), os solos e os tipos de revestimento.

Cabe ressaltar que o valor adotado pela norma como limite máximo admitido para o descumolamento catódico, de 12 mm, está referido somente como uma referência. Na norma, os ensaios são procedidos em solução NaCl 3% com tempo de imersão de 28 dias a 20°C. Neste estudo, os ensaios foram conduzidos em solo por, aproximadamente, 450 dias.

Conforme visto na Figura 15, os maiores descumolamentos catódicos do polietileno ocorreram no sistema PE3L/Hotmelt/PE3L, relacionada a maior concentração de corrente nas regiões de falhas nesses revestimento de alto desempenho. A presença do coaltar pode promover maior distribuição da corrente, reduzindo o processo de descumolamento do polietileno.

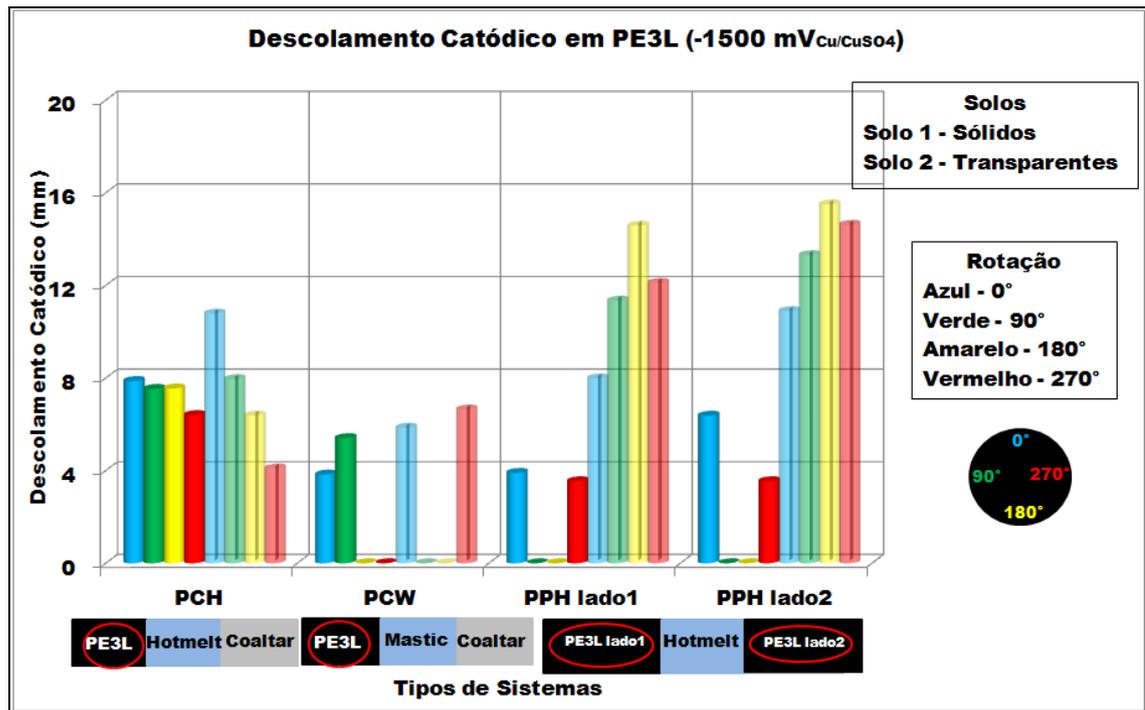


Figura 14- Visão geral do descolamentos catódico observado em função do sistema de revestimento e tipo de solo onde foram observados os casos mais críticos de descolamento catódico (-1500mV_{Cu/CuSO4}). Na legenda, a rotação refere-se à posição das diferentes falhas introduzidas no sistema

Conclusões

- A agressividade do solo e o potencial aplicado tem influência no descolamento catódico do PE3L.
- Foi observado descolamento do PE3L em solo agressivo, mesmo na ausência de superproteção catódica (-850mV_{Cu/CuSO4}).
- A presença de revestimento de baixo desempenho (coaltar) junto ao PE3L no mesmo sistema não contribuiu para o descolamento catódico;
- A presença de tubulações revestidas com coaltar e PE3L sob o mesmo sistema de proteção catódica, ou como substituição de segmentos antigos por tramos com revestimentos de alto desempenho, não representa um problema para o descolamento catódico do polietileno

Referências bibliográficas

- [1] PAYER J.H. et al., "Fundamental research on disbonding of pipeline coatings". Final report, april 1, 1991 - december 31, 1995, Case Western Reserve University, Dept. of Materials Science and Engineering: Cleveland, OH. 1996
- [2] RODRIGUEZ R.E., TRAUTMAN B., PAYER J.H., "Influencing factors in cathodic disbondment of fusion bonded epoxy coatings". Corrosion 2000. Orlando: NACE International
- [3] LEIDHEISER H.J., W. WANG, IGETOFt L., "The mechanism for cathodic delamination of organic coatings from a metal surface". Progress in Organic Coatings, 1983. 11: p. 19-40.

- [4] J.J.PERDOMO, I.SONG, “Chemical and Electrochemical Conditions on Steel under disbonded coatings: the effect of applied potential, solution resistivity, crevice thickness and holiday size”, Corrosion Science, 42, pp 1389-1415, 2000
- [5] PERDOMO J.J., CHABICA M.E., SONG I., “Chemical and Electrochemical Conditions on Steel under disbonded coatings: the effect of previously corroded surfaces and wet and dry cycles”, Corrosion Science, 43, pp 515-532, 2001
- [6] Denise S. de FREITAS, Simone L.D.C. BRASIL, Walmar BAPTISTA, João Hipolito L. OLIVER, “Proteção Catódica de Dutos com Diferentes Tipos de Revestimento”, 8ª COTEQ – Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos, Bahia, 2005
- [7] Denise S. de FREITAS, Simone L.D.C. BRASIL, Walmar BAPTISTA, José Claudio F. TELLES, José Antonio F. SANTIAGO, João Hipolito L. OLIVER, “Potential Distribution on Cathodically Protected Buried Pipelines with Aged and High Performance Coatings” Corrosion 2006 – National Association of Corrosion Engineering (NACE), EUA 2006
- [8] Denise S. de Freitas, Simone L.D.C. Brasil, Walmar Baptista, José Claudio F. Telles, José Antonio F. Santiago, João Hipolito L. Oliver "The potential effect in cathodic disbondment of buried pipelines with aged and high performance coatings", International Conference Cathodic Protection, University of Manchester, Inglaterra, 2006
- [9] Denise S. de Freitas, Simone L.D.C. Brasil, Walmar Baptista, José Claudio F. Telles, José Antonio F. Santiago, João Hipolito L. Oliver "The potential effect in cathodic disbondment of buried pipelines with aged and high performance coatings", The Journal of Corrosion Science and Engineering (JCSE), volume 9, p.1-16, 2006
- [10] Denise S. de Freitas, Simone L.D.C. Brasil, Walmar Baptista, José Claudio F. Telles, José Antonio F. Santiago, João Hipolito L. Oliver “Influence of the coating efficiency on the potential distribution on cathodically protected buried pipelines”, Congresso Latino Americano de Corrosão – Latincorr, Fortaleza, 2006
- [11] Denise S. de Freitas, Simone L.D.C. Brasil, Walmar Baptista, José Claudio F. Telles, José Antonio F. Santiago, João Hipolito L. Oliver “Cathodic Disbondment in High Performance Coatings: Experimental and Numerical Results”, Rio Oil & Gas, 2006
- [12] Denise S. de Freitas, Simone L.D.C. Brasil, Walmar Baptista, José Claudio F. Telles, José Antonio F. Santiago, João Hipolito L. Oliver “Cathodic Disbondment Evaluation: Experimental and Numerical Results”, Eurocorr 2007, Alemanha

* * *