

 PETROBRAS	ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA		Nº ET-3000.00-1500-940-PZ9-001	
	CLIENTE: E&P		FOLHA 1 de 13	
	PROGRAMA:			
	ÁREA:			
SUB/ES/EISE	TÍTULO: PROJETO DE PROTEÇÃO CATÓDICA PARA DUTOS FLEXÍVEIS E UMBILICAIS SUBMARINOS			EISE/EDF

ÍNDICE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
0	Revisão geral e mudança de indexação da ET 3000.00-1516-940-PPC-001 Rev0. em conformidade com as revisões das normas ISO 15589-2:2012 e DNV RP B401:2010.

	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA	19/12/2016								
PROJETO	EDF								
EXECUÇÃO	Chirley Ckou								
VERIFICAÇÃO	Leonardo CTDM								
APROVAÇÃO	Eder CSN8								

AS INFORMAÇÕES DESTES DOCUMENTOS SÃO PROPRIEDADE DA PETROBRAS, SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

FORMULÁRIO PERTENCENTE À PETROBRAS N-381 REV. E.

ÍNDICE

1.	OBJETIVO	3
2.	CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO.....	3
3.	PARÂMETROS.....	3
3.1.	Área Superficial - A.....	3
3.2.	Potencial de proteção.....	4
3.3.	Densidade de corrente - D	4
3.4.	Fator de degradação do revestimento - f	5
4.	CÁLCULO DA DEMANDA DE CORRENTE	6
4.1.	Corrente inicial necessária	6
4.2.	Corrente média necessária	6
4.3.	Corrente final necessária.....	7
5.	ANODO GALVÂNICO.....	7
5.1.	Propriedades eletroquímicas.....	7
5.2.	Fator de utilização do anodo - u.....	7
5.3.	Resistividade do meio	7
5.4.	Resistência do anodo - R_a	8
6.	CÁLCULO DA DEMANDA DE MASSA	8
7.	QUANTIDADE DE ANODO E CORRENTE FORNECIDA.....	8
8.	INSTALAÇÃO DO ANODO	8
9.	CONTROLE DE QUALIDADE	9
10.	APRESENTAÇÃO E ACEITAÇÃO DO PROJETO	9
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9
	ANEXO I – PRINCIPAIS DADOS PARA O PROJETO DE PROTEÇÃO CATÓDICA DOS DUTOS FLEXÍVEIS	10
	ANEXO II – PRINCIPAIS DADOS PARA O PROJETO DE PROTEÇÃO CATÓDICA DOS ACESÓRIOS DE UMBILICAL.....	12

1. OBJETIVO

Esta especificação apresenta os requisitos mínimos para o projeto de proteção catódica galvânica de linhas flexíveis e umbilicais a serem instalados nas Bacias de Campos, Santos e Espírito Santo. Esta especificação técnica tem como objetivo complementar a última versão dos documentos: ISO 15589-2 : 2012⁽¹⁾, DNV RP B 401:2010⁽²⁾, DNV RP F103:2010⁽³⁾ e I-ET-3000.00.6500-291-PAZ-038-Rev.0⁽⁴⁾ os quais deverão ser seguidos, a menos dos ajustes complementados por esta especificação técnica. Esta ET aplica-se somente a dutos flexíveis e umbilicais submarinos, incluindo seus acessórios.

2. CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO

Para dutos flexíveis, o sistema de proteção catódica deve ser projetado para proteger as armaduras e seus acessórios, durante o tempo previsto no projeto. Acessórios sem continuidade elétrica com as armaduras deverão possuir anodo dedicado. O sistema de proteção catódica deve fornecer corrente suficiente para o tramo, com uma adequada distribuição dos anodos para garantir que o potencial de proteção seja alcançado.

Para umbilicais submarinos, o sistema de proteção catódica deve ser projetado somente para proteção de seus acessórios. A proteção das armaduras de tração não deve ser considerada.

O sistema de proteção catódica deve ser projetado para o tempo de vida em serviço estabelecido na requisição de material, mais dois anos de abandono temporário. Para o dimensionamento da proteção durante o período de abandono, deverá ser utilizada a maior densidade de corrente dentre as densidades de corrente consideradas para o cálculo.

O desenho do anodo deverá fazer parte do Data Book do projeto com identificação da massa e dimensional. O número de referência do desenho do anodo deverá ser item no unifilar do duto flexível identificando a massa de anodo instalada em cada extremidade.

Todos os desenhos de acessórios devem conter informação sobre o material do substrato, tipo de revestimento, espessura do revestimento e sua área superficial. Deverá conter ainda informações sobre a massa e quantidade de anodo.

Para acessórios emersos durante período de serviço, deverá ser considerado no cálculo do sistema de proteção catódica apenas o período de abandono.

Para o cálculo do sistema de proteção catódica, a linha flexível deve ser dividida em trechos enterrados e não enterrados.

3. PARÂMETROS

3.1. Área Superficial - A

Para o duto flexível, além da área superficial dos acessórios, deve ser considerada a área externa da armadura de tração mais externa. A área da armadura de tração deve ser calculada considerando este componente como um cilindro.

$$A_{AT} = \pi \cdot D_{eAT} \cdot L$$

onde,

- A_{AT} = Área considerada para a armadura de tração (m^2)
- D_{eAT} = Diâmetro externo da camada de armadura de tração mais externa (m)
- L = Comprimento total do tramo (m)

3.2. Potencial de proteção

Para critério de potencial de proteção deve ser utilizada a tabela 1 da ISO 15589-2:2012.

3.3. Densidade de corrente - D

As densidades de correntes, utilizadas nos projetos de proteção catódica para atingir e manter a proteção contra corrosão depende de fatores que variam com a localização geográfica e lâmina d'água. As normas internacionais apresentam alguns valores estimados de densidades de corrente baseados na temperatura e profundidade de instalação do equipamento submarino de acordo com as zonas climáticas (tropical, subtropical, temperado e ártico)^(1,2). Entretanto, a PETROBRAS, em consonância com estas normas, especifica as densidades de corrente para proteção catódica de suas estruturas submarinas instaladas na costa brasileira baseada em sua experiência e aquisição destes parâmetros *in situ*.

Devem ser utilizados os valores indicados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, conforme a configuração do unifilar da linha. Estes valores devem substituir os apresentados nas normas internacionais^(1,2), inclusive para a região do *riser*. Para *riser* deve ser obtida a densidade de corrente para cada seção da linha, de acordo com a faixa de LDA.

Para componentes aquecidos por fluido interno, as densidades de corrente devem ser incrementadas de $0,001 A/m^2$ para cada $^{\circ}C$ que a temperatura da parede externa da armadura e/ou parede do acessório exceder $25^{\circ}C$ ⁽¹⁾. Quando a temperatura da parede externa não estiver disponível, pode-se utilizar, de forma conservativa, a temperatura do fluido interno.

Tabela 1 – Densidade de corrente para profundidade menor que 100m

Material/condição	Densidade inicial (A/m^2)	Densidade média (A/m^2)	Densidade final (A/m^2)
Aço carbono submerso	0,170	0,080	0,110
Aço carbono enterrado	0,170	0,060	0,060

Tabela 2 - Densidade de corrente para profundidade entre 100 m e 300 m

Material/condição	Densidade inicial (A/m^2)	Densidade média (A/m^2)	Densidade final (A/m^2)
Aço carbono submerso	0,190	0,120	0,140
Aço carbono enterrado	0,190	0,060	0,060

Tabela 3 - Densidade de corrente para profundidade entre 300 m e 1 000 m

Material/condição	Densidade inicial (A/m ²)	Densidade média (A/m ²)	Densidade final (A/m ²)
Aço carbono submerso	0,220	0,130	0,170
Aço carbono enterrado	0,200	0,060	0,060

Tabela 4 - Densidade de corrente para profundidade superior a 1000 m

Material/condição	Densidade inicial (A/m ²)	Densidade média (A/m ²)	Densidade final (A/m ²)
Aço carbono submerso	0,220	0,143	0,170
Aço carbono enterrado	0,200	0,060	0,060

3.4. Fator de degradação do revestimento - f

O uso de revestimento pode reduzir a demanda de corrente devido seu efeito de isolante elétrico. Mas, com o tempo, devido à degradação do revestimento, a demanda de corrente pela linha e acessórios aumenta.

Para capa externa do duto flexível deve ser utilizado o fator inicial (f_i) igual a 0,002 e incremento médio anual (Δf) igual a 0,0001, conforme indicado na tabela 3 da ISO15589-2:2012. Para cálculo do fator médio e final do projeto deve ser considerado o tempo para vida em serviço e o tempo de abandono temporário. Para cálculo do fator médio e final devem ser utilizadas as equações abaixo:

$$f_{ab \text{ médio}} = f_i + \Delta f \cdot t_{ab}/2$$

$$f_{p \text{ médio}} = f_i + \Delta f \cdot (t_{vs} + t_{ab})/2$$

$$f_{final} = f_i + \Delta f \cdot (t_{vs} + t_{ab})$$

Onde,

$f_{ab \text{ médio}}$ – Fator do revestimento médio durante abandono;

$f_{p \text{ médio}}$ – Fator do revestimento médio do projeto;

f_i - Fator inicial;

Δf – Incremento médio anual;

t_{ab} – Tempo de abandono temporário;

t_{vs} – Tempo de vida em serviço.

Para os acessórios do duto flexível e umbilicais devem ser adotadas as orientações do item 6.4 da DNV-RP-B401:2010 para calcular os fatores do revestimento. Considerando as constantes estabelecidas na tabela 10-4 do anexo A da DNV-RP-B401, devem ser utilizadas as equações abaixo, para cálculo do fator médio e final:

$$f_{ab \text{ médio}} = a + b \cdot t_{ab}/2$$

$$f_{p \text{ médio}} = a + b \cdot (t_{vs} + t_{ab})/2$$

$$f_{\text{final}} = a + b \cdot (t_p + t_{ab})$$

Onde,

$f_{ab \text{ médio}}$ – Fator do revestimento médio durante abandono;

$f_{p \text{ médio}}$ – Fator do revestimento médio do projeto;

a – Constante a (Fator inicial);

b – Constante b;

t_{ab} – Tempo de abandono temporário;

t_{vs} – Tempo de vida em serviço.

Para revestimentos metálicos, como revestimento de níquel químico interdifundido, que não possui efeito de isolamento, deve ser adotado fator de degradação do revestimento igual a 1.

4. CÁLCULO DA DEMANDA DE CORRENTE

4.1. Corrente inicial necessária

$$I_i = D_i \cdot f_i \cdot A$$

Onde,

I_i – Corrente inicial (A);

D_i – Densidade de corrente inicial (A/m^2);

f_i – Fator inicial do revestimento;

A – Área a ser protegida (m^2).

Para cálculo da corrente inicial necessária deverá ser considerada a densidade de corrente na condição mais crítica, sendo neste caso correspondente a maior LDA.

4.2. Corrente média necessária

$$I_m = (D_{vs \text{ média}} \cdot A \cdot f_{p \text{ média}}) \cdot t_{vs} / (t_{vs} + t_{ab}) + (D_{ab \text{ média}} \cdot A \cdot f_{ab \text{ média}}) \cdot t_{ab} / (t_{vs} + t_{ab})$$

Onde,

I_m – Corrente média (A);

$D_{vs \text{ média}}$ – Densidade de corrente média durante vida em serviço (A/m^2);

$D_{ab \text{ média}}$ – Densidade de corrente média durante abandono (A/m^2);

$f_{p \text{ média}}$ – Fator do revestimento médio do projeto;

$f_{ab \text{ média}}$ – Fator do revestimento médio para tempo de abandono;

A – Área a ser protegida (m^2).

4.3. Corrente final necessária

$$I_f = D_f \cdot f_f \cdot A$$

Onde,

I_f – Corrente final (A);

D_f – Densidade de corrente final (A/m^2);

f_f – Fator final do revestimento para tempo de operação mais tempo de abandono;

A – Área a ser protegida (m^2).

Para cálculo da corrente final necessária deverá ser considerada a densidade de corrente na condição mais crítica, sendo neste caso correspondente a maior LDA.

5. ANODO GALVÂNICO

O projeto do sistema de proteção catódica galvânico deve ser realizado com anodos de alumínio.

A composição química deve está de acordo com a tabela 6 da ISO 15589-2:2012.

O anodo deve ser projetado de modo a fornecer corrente suficiente para o sistema, e manter o potencial de proteção por todo período do projeto. O dimensional do anodo deve considerar ainda a instalação do mesmo na linha e nos acessórios, bem como inspeção.

5.1. Propriedades eletroquímicas

Para o projeto do sistema de proteção catódica devem ser adotadas as propriedades eletroquímicas da tabela 5 da ISO15589-2:2012. Conforme orientação na referida norma, nos casos em que a linha flexível não é enterrada por premissa de projeto, o cálculo da proteção catódica deve considerar a capacidade eletroquímica do anodo enterrado e densidade de corrente da linha flexível submersa. Esta consideração não é necessária quando o anodo é instalado em *sled (skid)*, garantindo que o mesmo não será enterrado.

Para os risers, trechos com garantia de condição submersa, apenas para o tempo de abandono deverá ser considerado no cálculo que o anodo estará enterrado.

5.2. Fator de utilização do anodo - u

O fator de utilização depende do tipo de anodo, em destaque do seu dimensional. Para o cálculo do sistema de proteção catódica deverá ser utilizada a tabela 10-8 do anexo A da DNV-RP-B401:2011.

5.3. Resistividade do meio

Para condição de anodo submerso deve ser utilizado resistividade igual a 0,3 ohm.m e para condição de anodo enterrado deve ser utilizado resistividade igual a 1,3 ohm.m⁽²⁾.

5.4. Resistência do anodo - R_a

A resistência do anodo deve ser calculada de acordo com as fórmulas da tabela 10-7 do anexo A da DNV RP-B401:2011.

6. CÁLCULO DA DEMANDA DE MASSA

A massa de anodo mínima necessária deve ser calculada de acordo com a equação abaixo:

$$M = 8760 \cdot I_m \cdot t / (u \cdot \varepsilon)$$

Onde,

M – Massa mínima necessária;

I_m – Corrente média necessária;

ε - Capacidade eletroquímica do anodo;

t – tempo do projeto igual ($t_{vs} + t_{ab}$);

u – Fator de utilização do anodo.

Caso os parâmetro de projeto e do anodo sejam diferentes para condição de abandono e de operação, deverá ser calculada a massa para cada condição.

7. QUANTIDADE DE ANODO E CORRENTE FORNECIDA

A quantidade total de anodo do sistema de proteção catódica deverá ser suficiente para garantir a demanda de massa.

A quantidade de anodo deverá fornecer corrente inicial e final que atenda a demanda calculada para o sistema. As correntes do anodo deverão ser calculadas conforme equação abaixo:

$$I_a = (E_c - E_a) / R_a$$

Onde,

I_a – Corrente do anodo;

E_c – Potencial de proteção;

E_a – Potencial do anodo;

R_a – Resistência do anodo.

8. INSTALAÇÃO DO ANODO

Devem ser adotados os critérios estabelecidos no item 11 da ISO 15589-2:2012 quanto ao contato através de solda ou através de cabo.

Para efetiva operação do sistema de proteção catódica deve ser garantida a continuidade elétrica entre o conector, armadura de tração, estojos, porcas e anodos galvânicos. A queda de tensão na

conexão entre o anodo e a linha flexível não deve ser maior que 10%. A resistência da conexão nunca deve exceder 0,1 ohm.

O espaçamento entre a instalação de anodos deve atender uma distribuição adequada de corrente, garantindo a proteção de toda linha e os acessórios com continuidade elétrica. A distância entre anodos deve ser avaliada segundo o cálculo de atenuação de potencial apresentado na equação 17 da DNV RP F103:2010. Quando mais de um anodo for instalado em um mesmo ponto de contato no duto flexível, deve ser considerada a resistência equivalente dos anodos na referida equação. Caso o fornecedor realize a medição da resistência da armadura diretamente na linha, o resultado da medição pode ser usado na equação 17. A corrente necessária para proteger o conector deverá ser considerada no cálculo da atenuação do potencial.

9. CONTROLE DE QUALIDADE

Para controle de qualidade devem ser utilizadas as recomendações do item 10 da ISO 15589-2:2012. Deve ser fornecido pelo fabricante do anodo o certificado de capacidade de corrente.

10. APRESENTAÇÃO E ACEITAÇÃO DO PROJETO

O projeto deve ser apresentado a PETROBRAS para avaliação. Devem ser apresentados no mínimo, os dados destacados nas tabelas do anexo I para duto flexível e anexo II para acessórios submersos.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ISO 15589-2 – 2012 Petroleum and Natural Gas Industries – Cathodic Protection of Pipeline Transportation System – Part 2 : Offshore Pipelines;
- (2) DNV-RP-B401 - 2010, Cathodic Protection Design, 2010, Amended April 2011;
- (3) DNV-RP-F103 - 2010, Cathodic Protection of Submarine Pipelines by Galvanic Anodes;
- (4) I-ET-3000.00.6500-291-PAZ-038-Ver.0 Flexible Pipe (Replacement of Standard N-2409), 2014.



ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Nº

ET-3000.00-1500-940-PZ9-001

REV.

0

Cliente: E&P

FOLHA

10

de

13

TÍTULO:

PROJETO DE PROTEÇÃO CATÓDICA PARA DUTOS FLEXÍVEIS E UMBILICAIS SUBMARINOS

**ANEXO I – PRINCIPAIS DADOS PARA O PROJETO DE PROTEÇÃO CATÓDICA
DOS DUTOS FLEXÍVEIS**

Sistema de Proteção Catódica para Dutos Flexíveis

		Aplicação Riser ou Flow?	Vida em serviço (anos)	LDA (m)	Comprimento do tramo (m)	área (m ²)	temperatura na superfície (°C)	li (A)	If (A)	Im (A)	M (kg)	Resistência do duto (ohm)	Tipo de anodo	Massa por anodo (kg)	Quantidade de anodo	área inicial do anodo (m ²)	área final do anodo (m ²)	Corrente inicial fornecida (A)	Corrente final fornecida (A)	Resistência equivalente dos anodos (ohm)	Estudo do potencial	
número do Tramo																						
Acessórios com continuidade elétrica com a armadura																						



ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

Nº

ET-3000.00-1500-940-PZ9-001

REV.

0

Cliente: E&P

FOLHA

12

de

13

TÍTULO:

PROJETO DE PROTEÇÃO CATÓDICA PARA DUTOS FLEXÍVEIS E UMBILICAIS SUBMARINOS

**ANEXO II – PRINCIPAIS DADOS PARA O PROJETO DE PROTEÇÃO CATÓDICA
DOS ACESSÓRIOS DE UMBILICAL**

