	PROJETO		Nº PJ 12 2022 NIP 002_VOLLARE							
	CLIENTE:		NIP DO BRASIL ESTUDOS E PROJETOS					FOLHA:		1 de 21
	PROGRAMA:		SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA							
	ÁREA:		GASODUTO VOLLARE					REVISÃO - 0		
TÍTULO: PROJETO PARA SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA GASODUTO VOLLARE										
ÍNDICE DE REVISÕES										
REV.	DESCRIÇÃO									
0	EMISSÃO INICIAL									
	REV. 0	REV. 1	REV. 2	REV. 3	REV. 4	REV. 5	REV. 6	REV. 7	REV. 8	
DATA	DEZ/2022									
PROJETO	AGTEST									
EXECUÇÃO	ARTHUR									
VERIFICAÇÃO	HELENA									
APROVAÇÃO	MULLER									
AGTEST CONSTRUÇÕES E INSPEÇÕES LTDA.				www.agtest.com.br			FONE / FAX: (12) 3953-3161			
Diretoria - ruiane@agtest.com.br - cel. (12) 97401 1817 / Gerência - gerente@agtest.com.br - cel. (11) 99139 5008										

ÍNDICE

1-	Memorial Descritivo do Projeto.....	3
	1.1 - Introdução.....	3
	1.2 - Objetivo do Memorial Descritivo.....	3
	1.3 - Descrição da Estrutura.....	3
	1.4 - Levantamentos de Campo - Resistividade Elétrica do Solo.....	3
	1.5 - Descrição do Projeto.....	4
	1.6 - Referências de Proteção.....	5
	1.7 - Relação de Documentos do Projeto.....	5
	1.8 - Relação de Documentos de Referência.....	6
	1.9 - Dados do Sistema de Proteção Catódica Existente.....	6
2-	Memorial de Cálculos.....	7
	2.1 - Área do gasoduto.....	7
	2.2 - Densidade de Corrente.....	7
	2.3 - Corrente de Proteção.....	7
	2.4 - Resistências do Circuito de Proteção.....	8
	2.5 - Conclusão do Memorial de Cálculos.....	8
3-	Especificação Técnica dos Materiais.....	9
	3.1 - Pontos de Teste e Interligação Elétrica.....	9
4-	Croqui de Montagem.....	10
	4.1 - Detalhe de Solda do Cabo ao Gasoduto.....	10
5-	Lista de Materiais.....	11
	5.1 - Pontos de Teste e MI.....	11
6-	Manual de Montagem do Sistema de Proteção Catódica.....	12
	6.1 - Objetivo.....	12
	6.2 - Descrição dos Serviços de Implantação do Sistema.....	12
	6.3 - Método Solda por Brasagem em Tubulações (Solda Branca).....	12
	6.3.1 - Preparação da Superfície do Gasoduto.....	12
	6.3.2 - Preparação do Cabo.....	13
	6.3.3 - Conexão do Cabo ao Gasoduto.....	13
	6.3.4 - Reparo do Revestimento do Gasoduto.....	13
	6.4 - Documentos de Referência.....	14
	6.5 - Sistema de Proteção Catódica Provisório.....	14
	6.5.1 - Procedimento a Ser Adotado no Sistema de Proteção Catódica Provisória.....	14
	6.5.2 - Premissas Básicas.....	15
	6.5.3 - Normas a Serem Adotadas na Proteção Catódica Provisória.....	16
7-	Manual de Pré-Operação do Sistema de Proteção Catódica.....	17
	7.1 - Objetivo.....	17
	7.2 - Pré-Operação do Sistema de Proteção Catódica.....	17
	7.3 - Inspeções Necessárias Durante a Fase de Pré-Operação.....	18
	7.4 - Relatório de Pré-Operação do Sistema de Proteção Catódica.....	18
	7.5 - Inspeção por DCVG.....	18

1- Memorial Descritivo do Projeto

1.1 - Introdução

Este projeto tem por filosofia uma apresentação em formato integralizado, ou seja, os documentos que o compõem que são o Memorial Descritivo do Projeto, o Memorial de Cálculo, a Especificação Técnica dos Materiais, o Croqui de Montagem, a Lista de Materiais, bem como os Manuais de Montagem e Pré-Operação deste Sistema de Proteção Catódica são apresentados em um único caderno, isto para uma melhor compreensão e entendimento deste projeto.

- **NOTA:** O objetivo deste projeto nesta etapa é apresentar a filosofia a ser empregada neste sistema de proteção catódica, que avaliará a implantação de um sistema de proteção catódica por corrente impressa empregando a corrente de proteção fornecida pelo sistema de proteção catódica já existente no gasoduto de onde irá derivar este novo ramal, isto em função da baixa demanda de corrente de proteção para sua polarização.

1.2 - Objetivo do Memorial Descritivo

Este memorial descritivo tem por objetivo apresentar os dados que foram utilizados na elaboração do projeto propriamente dito, e que foram empregados na elaboração das suas diversas fórmulas. Este projeto avaliará a implantação de um sistema de proteção catódica por corrente impressa empregando a corrente de proteção fornecida pelo sistema de proteção catódica já existente no gasoduto de onde irá derivar este novo ramal.

1.3 - Descrição da Estrutura

A estrutura a proteger no contexto deste projeto consiste em um gasoduto para transporte de gás natural, de propriedade da ESGAS, a ser construído em aço carbono sendo que será interligado na rede existente de 6 polegadas, com uma extensão aproximada de 8.500 metros e também em 6 polegadas de diâmetro, no Município de São Mateus, Estado do Espírito Santo.

1.4 - Levantamentos de Campo - Resistividade Elétrica do Solo

Tendo em vista este projeto especificar o empregado da corrente de proteção para este novo ramal ser fornecida pelo sistema de proteção catódica já existente no gasoduto de onde irá derivar este novo ramal, isto em função da baixa demanda de corrente de proteção para sua polarização, e também tendo em vista a grande intensidade de chuvas no local da implantação deste gasoduto, fato que iria distorcer os valores da resistividade elétrica do solo a ser empregada para o desenvolvimento das fórmulas deste projeto, os valores utilizados neste projeto tomaram por base

dados referenciais utilizados nesta região na elaboração de outros projetos para sistemas de proteção catódica.

1.5 - Descrição do Projeto

Tendo em vista os valores encontrados no sistema de proteção catódica existente bem como a extensão deste novo ramal este projeto considerou para a distribuição da corrente de proteção como sendo a fornecida pelo sistema de proteção catódica nos dois gasodutos onde se interligará este novo ramal.

Os parâmetros para elaboração deste projeto foram:

- » **Densidade de corrente:-** foi baseada em fórmula que determina a densidade de corrente em função da resistividade elétrica do solo estimada para esta região.
- » **Eficiência do revestimento:-** em função do revestimento externo do gasoduto, tripla camada em polietileno extrudado, a eficiência adotada foi de 99%.
- **NOTA:** Quantificarmos a eficiência de um determinado revestimento é um tema que nos encaminha a um valor subjetivamente empírico, uma vez que para expressarmos com exatidão este valor teremos de envolver a qualidade do processo de fabricação deste revestimento, bem como o controle da qualidade no momento de sua aplicação, assim como a qualidade de assentamento deste gasoduto tendo por objetivo minimizar o máximo possível as agressões ao seu revestimento externo.

As normas técnicas em vigor não expressam de forma clara e precisa a eficiência dos revestimentos de uma tubulação, sendo que a literatura técnica recomenda que a melhor forma de avaliarmos a eficiência de determinado revestimento é a execução de ensaios de injeção de corrente em trechos de tubos.

Em análise ao livro *“Proteção Catódica – Técnica de Combate a Corrosão”* de Aldo Cordeiro Dutra e Laerce de Paula Nunes, em sua 5ª Edição, em seu Capítulo 7 destacamos: - *“Na impossibilidade de execução de um ensaio para avaliação da eficiência de um determinado revestimento, o que é muito comum, caberá ao projetista, com base na sua experiência própria em dados referentes ao tipo de revestimento, sua aplicação e demais fatores influentes, estimar criteriosamente a eficiência a ser adotada no projeto de proteção catódica.”*

Tendo em vista o tipo de revestimento a ser utilizado neste novo gasoduto ser o polietileno extrudado em tripla camada, e sendo este um revestimento de comprovada eficiência, estaremos estimando o valor da eficiência deste revestimento externo como sendo de 99%, valor este conservador, uma vez

que o valor comumente adotado em projetos com emprego deste tipo de revestimento é de 99,9%.

Consideramos ainda que sem a realização da implantação deste sistema de proteção catódica bem como a realização dos testes posteriores descritos adiante neste projeto consideramos precipitado afirmar que este sistema de proteção catódica não será devidamente operacional em função da eficiência do revestimento adotada.

- » **Vida útil do sistema:-** a vida útil utilizada para os ânodos levou em consideração um tempo de operação de 20 anos para o leito.

1.6 - Referências de Proteção

O gasoduto objeto deste projeto deverá atender como os potenciais eletroquímicos mínimos de proteção aqueles estipulados nas normas abaixo:

- *NACE RP 0169-13 - Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems, e*
- *NBR 15589-1:2016 - Indústria do petróleo e gás natural — Proteção catódica para sistemas de transporte de dutos.*

Estas normas consideram um gasoduto de aço protegido catodicamente quando forem atendidas uma das alternativas apresentadas abaixo:

- **ALTERNATIVA A:-** O potencial eletroquímico medido em relação a um eletrodo de referência em cobre/sulfato de cobre seja igual ou negativamente superior a -0,85VCC.
- **ALTERNATIVA B:-** Apresentar uma polarização catódica superior a 100mVCC. Entende-se por polarização catódica a diferença de potencial existente entre o potencial natural do gasoduto e o potencial obtido no momento exato do desligamento do retificador.

1.7 - Relação de Documentos do Projeto

Este projeto possui a seguinte relação de documentos:

- » **MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO**
- » **MEMORIAL DE CÁLCULO**
- » **ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DOS MATERIAIS**
- » **CROQUI DE MONTAGEM**
- » **LISTA DE MATERIAIS**
- » **MANUAL DE MONTAGEM DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA**
- » **MANUAL DE PRÉ-OPERAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA**

1.8 - Relação de Documentos de Referência

- Normas da National Association of Corrosion Engineers - NACE International
 - RP- 0169/13 - Corrosion Control of Buried or Submerged Metallic Structures
- Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT
 - NBR 15589-1: 2016 – Proteção Catódica para Sistemas de Transporte de Dutos Terrestres – Parte 1.
 - NBR 7117 - Medição de Resistividade do Solo Pelo Método dos Quatro Pontos (Wenner)

1.9 - Dados do Sistema de Proteção Catódica Existente

Retificador ERP São Mateus
Saída em 1,0Vcc
Potencial na região -1,40Vcc

Assim podemos concluir que este retificador encontra-se com folga que permite um aumento de injeção de corrente de saída para o fornecimento da corrente de proteção para este novo ramal.

➤ **NOTA:** Dados fornecidos pela ESGAS.

2- Memorial de Cálculos

2.1 - Área do gasoduto

Para obtermos a área total do gasoduto a proteger empregamos a fórmula abaixo:

$$A = \pi \times D \times C$$

onde:-

D = diâmetro do gasoduto em metros

C = comprimento do gasoduto em metros

$$A = 3,1416 \times 0,15 \times 8500 = 4.005,54 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Total} = 4.006 \text{ m}^2$$

2.2 - Densidade de Corrente

Considerando-se como densidade de corrente para a proteção do gasoduto a fornecida pela fórmula abaixo:

$$Dc = 73,73 - (13,35 \times \log \varphi)$$

onde:

φ = resistividade elétrica média do solo estimada em 15.000 ohm x cm

$$Dc = 73,73 - (13,35 \times \log 15000)$$

$$Dc = 18,06 \text{ mA/m}^2$$

2.3 - Corrente de Proteção

De acordo com normas vigentes consideramos como eficiência do revestimento do gasoduto, tripla camada em polietileno, uma taxa de 99%.

$$I = A \times Dc \times (1 - E)$$

onde:

A = área das tubulações em m²

Dc = densidade de corrente em mA/m²

E = eficiência do revestimento na forma decimal

$$I = 4005 \times 18,06 \times (1 - 0,99) =$$

I = 723,30mA, ou seja, 0,8A

- **NOTA:** Em função da pequena necessidade de fornecimento de corrente de proteção esta poderá ser fornecida pelo sistema de proteção catódica já existente nos dois gasodutos a serem interligados mecanicamente por este novo ramal.

2.4 - Resistências do Circuito de Proteção

Tendo em vista este sistema de proteção catódica por corrente impressa para este novo ramal estar empregando a corrente de proteção fornecida pelo sistema de proteção catódica já existente nos dois gasodutos a serem interligados mecanicamente por este novo ramal, não estará sendo aqui determinada a resistência do circuito de proteção.

2.5 - Conclusão do Memorial de Cálculos

Com base na corrente de proteção necessária para a devida polarização deste novo ramal que interligará dois gasodutos já existentes ser da ordem de 0,8A, podemos concluir que estes três retificadores existentes possuem totais condições de prover a corrente de proteção necessária a este novo ramal.

3- Especificação Técnica dos Materiais

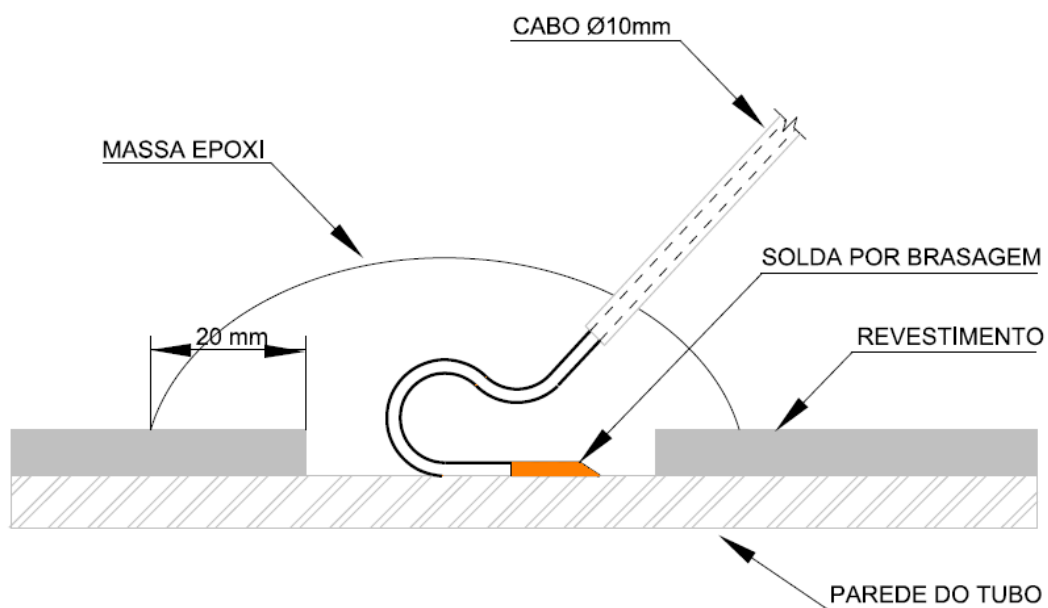
3.1 - Pontos de Teste e Interligação Elétrica

São projetados para atender um acompanhamento do potencial eletroquímico deste novo gasoduto, sendo do tipo em moirão de concreto conforme padrão ESGAS. Deverão apresentar cabos em seção circular de 6 mm², com duplo revestimento em PVC/PVC, classe de isolamento em 1kV, em cobre eletroquímico de tempera mole, conectados ao gasoduto por solda por brasagem.

Ponto de Teste	Localização
PT01	Ponto de interligação ao gasoduto existente
PT02	E100
PT03	E200
PT04	E300
PT05	E425

4- Croqui de Montagem

4.1 - Detalhe de Solda do Cabo ao Gasoduto



5- Lista de Materiais

5.1 - Pontos de Teste e MI

Item	Especificação	Unid.	Qte
01	Conjunto para moirão de concreto para ponto de teste simples	pç	05
02	Cabo elétrico 6mm ² , dupla isolamento de acordo com norma ABNT, em PVC/PVC, classe de isolamento 1kV, em cobre eletroquímico de tempera mole, tipo Sintenax ou similar	m	300
03	Eletroduto tipo kanaflex com 1 ¼ " de diâmetro	m	300
04	Massa epóxi MEP 301 da TUBOLIT ou similar	Kg	02

6- Manual de Montagem do Sistema de Proteção Catódica

6.1 - Objetivo

Este Manual tem por objetivo apresentar as especificações mínimas para a montagem do sistema de proteção catódica.

6.2 - Descrição dos Serviços de Implantação do Sistema

Os serviços a executar para a implantação deste sistema de proteção catódica consistirão de:

- a) Aquisição do material e equipamentos de acordo com as especificações descritas na Especificação dos Materiais do projeto, bem como em sua Lista de Materiais.
- b) Construção e montagem de 05 pontos de teste,
- c) Pré-operação do sistema de proteção catódica conforme item específico descrito adiante.
- d) Emissão de relatório técnico completo com os dados obtidos em campo durante a fase de implantação e pré-operação do sistema de proteção catódica.

6.3 - Método Solda por Brasagem em Tubulações (Solda Branca)

Este procedimento é indicado para cabos elétricos não importando o valor de sua seção transversal e para tubulações com qualquer diâmetro, mesmo que estas se encontrem em regime de operação normal, desde que respeitando-se rigorosamente seus limites de temperatura. É especialmente recomendada para tubulações que se encontrem operando com combustíveis inflamáveis gasosos ou líquidos em alta pressão, e que possuam uma relação de carga de solda exotérmica por espessura elevada ou ainda para os casos em que haja perda de espessura nominal do gasoduto, desde que não se encontre comprometido seu limite de escoamento.

6.3.1 - Preparação da Superfície do Gasoduto

Limpar a superfície do gasoduto no local da solda.

Remover o revestimento do gasoduto em uma superfície aproximada de 10 x 10 cm, deixando-a isenta de detritos e de qualquer oleosidade.

Aquecer com um maçarico a área limpa do gasoduto para retirada de todo traço de umidade.

Aplicar sobre a superfície do gasoduto o componente para a soldagem (estanho em pó ou então em barra) aquecendo-o até seu ponto de fusão.

Após a fusão do componente da solda, distribuir uniformemente sobre a superfície do gasoduto efetuando o acabamento com a ponteira do maçarico.

6.3.2 - Preparação do Cabo

Se possível e as condições da vala permitirem, efetuar uma volta com o cabo em torno do gasoduto aplicando um nó cego para sua fixação.

Limpar a ponta do cabo em um espaço de aproximadamente 3cm, retirando a dupla camada de revestimento.

Aquecer com o maçarico a parte cobreada exposta do cabo com o objetivo de remover as impurezas e umidade.

Aplicar o componente da solda (estanho em pó ou em barra) sobre a superfície cobreada exposta do cabo e fundi-la com o maçarico.

6.3.3 - Conexão do Cabo ao Gasoduto

Apoiar o cabo com sua superfície estanhada sobre a superfície estanhada do gasoduto.

Aquecer as duas superfícies com um maçarico até o ponto de fusão, efetuando aplicação da barra de estanho sobre este ponto até o recobrimento total do cabo com o acabamento sendo efetuado com a ponteira do maçarico.

6.3.4 - Reparo do Revestimento do Gasoduto

O reparo dos revestimentos deverá ser efetuado com material compatível aos mesmos, sendo geralmente utilizado massa epóxi poliamida de dois componentes, e com especificações adequadas para uso enterrada diretamente no solo.

Misturam-se os componentes da massa epóxi na proporção de 1/1 em peso, até que se obtenha uma mistura homogênea.

Aplica-se a massa sobre a área soldada, moldando-a com as mãos de forma a garantir que o metal da superfície do gasoduto ou a parte sem revestimento do cabo não fiquem expostos.

Sobrepor a massa sobre o revestimento original do gasoduto em aproximadamente 2cm.

6.4 - Documentos de Referência

Os documentos de referência para efetuação da montagem deste sistema de proteção catódica são os desenhos e o projeto.

6.5 - Sistema de Proteção Catódica Provisório

6.5.1 - Procedimento a Ser Adotado no Sistema de Proteção Catódica Provisória

Este sistema de proteção catódica provisória deve ser instalado de tal maneira que não ocorra à falta de proteção em qualquer trecho do duto que esteja enterrado por um período superior ao indicado na Tabela I abaixo, tabela esta que determina o tempo da tubulação enterrada em função do potencial natural do tubo.

Tabela I

Potencial Natural do Gasoduto	Tempo Enterrado sem Proteção Catódica
-0,45 a -0,65Vcc	90 dias (<i>Item 8.6 NBR 15.589 : 2016</i>)
-0,35 a -0,45Vcc	90 dias
-0,35Vcc ou valores mais positivos	30 dias

A Construtora disponibilizará um diagrama unifilar com a indicação estaca a estaca das tubulações já assentadas. De posse da informação fornecida, a empresa instaladora da proteção catódica provisória deverá monitorar o nível de tensão (contínua e alternada) dos tramos com e sem proteção, devendo programar em conjunto com a Construtora a instalação dos ânodos de sacrifício de maneira a atender as condições definidas neste procedimento, bem como os prazos estabelecidos na Tabela I (acima).

Estes cabos devem sempre que possível ser fixados nos mesmos locais previstos para a implantação dos Pontos de Teste do sistema de proteção catódica definitivo, porém não se limitando a estes pontos, isto se houver necessidade de implantação de ânodos suplementares para obter-se o potencial mínimo de proteção.

Especial atenção deve ser dada à análise dos potenciais eletroquímicos do gasoduto nos seguintes casos: travessias com redes elétricas energizadas (baixa ou alta tensão) e outros dutos protegidos catodicamente. Para tais situações, caso os níveis de tensão (contínua e alternada) estejam fora do estipulado em procedimento, a instalação dos ânodos de sacrifício deverá ser efetuada tão logo seja identificado o desvio, não aplicando-se, neste caso, os prazos estipulados na Tabela I.

Este sistema de proteção catódica provisória deve abranger a instalação dos equipamentos necessários para se obter os devidos níveis de proteção do gasoduto, e onde necessário prever a interligação elétrica com outros dutos já protegidos catodicamente se houverem. A interligação elétrica do gasoduto a dutos protegidos catodicamente e de propriedade de outras empresas somente poderá ser efetuado após comum acordo entre as empresas envolvidas.

Os potenciais deste sistema de proteção catódica provisória devem ter um acompanhamento mensal, devendo ser emitido um relatório na mesma periodicidade com os resultados obtidos, devendo estas medições ser mantidas pelo período que for necessário e até o total recebimento deste sistema de proteção por parte da ESGAS, ou então até a implantação do sistema de proteção catódica definitivo.

Todos os equipamentos deste sistema de proteção catódica provisória devem ser desconectados após a total energização do sistema de proteção catódica definitivo, previsto no projeto deste duto, permanecendo os cabos de conexão a gasoduto, cabos estes que deverão ser utilizados para os Pontos de teste do sistema de proteção catódica definitivo.

6.5.2 - Premissas Básicas

A montagem do sistema de proteção catódica provisória deve atender as necessidades de proteção do duto, procurando-se sempre observar as alternativas mais seguras para sua implantação, bem como também a alternativa mais econômica.

Este sistema deverá preferencialmente ser efetuado através da implantação de ânodo de magnésio com 2,2 Kg de peso líquido, envoltos em saco de anagem com 50% gesso e 50% bentonita, não importando o valor da resistividade elétrica do local de implantação.

Este ânodo deverá ter o local de sua implantação cadastrado, devendo seu cabo ser encaminhado ao tubo em PVC que terá a finalidade de abrigar o Ponto de Teste.

Deverá ser soldado um cabo diretamente à superfície do gasoduto conforme procedimento, cabo este que também deverá ser encaminhado ao tubo em PVC que terá a finalidade de abrigar o Ponto de Teste, onde será conectado ao ânodo.

Este ânodo após a ativação do sistema de proteção definitivo deverá ser desconectado do cabo proveniente do gasoduto.

Em casos onde este ânodo não apresentar níveis de potencial adequado para a devida proteção do duto deverá ser prevista a implantação de um ou mais ânodos suplementares, podendo também ser previstas formas alternativas de proteção.

Como alternativa recomenda-se a utilização de retificadores provisórios utilizando-se como leitos de ânodo tubos de aço sucateados sem revestimento externo ou hastes de aterramento. Para a alimentação destes retificadores deverá ser solicitado a concessionária de energia local uma ligação em caráter provisória.

Para a confirmação dos níveis adequados dos parâmetros de proteção deverão ser obedecidas as Normas indicadas, sendo que durante o período da obra deverão ser efetuadas medições quinzenais do potencial dos diversos trechos já implantados, potenciais estes que deverão ser apresentados em relatórios quinzenais.

Estas medições deverão ser efetuadas tanto para potenciais contínuos quanto para potenciais alternados.

Este relatório deverá também descrever o tipo de proteção catódica provisória adotado para cada trecho medido.

6.5.3 - Normas a Serem Adotadas na Proteção Catódica Provisória

Para os resultados das medições efetuadas neste sistema de proteção catódica provisória deverão ser seguidas as determinações das normas abaixo especificadas, porém não necessariamente limitando a estas:

- *NACE RP 0169-13 – Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems,*
- *NBR 15589-1:2016 - Indústria do petróleo e gás natural — Proteção catódica para sistemas de transporte de dutos Parte 1: Dutos terrestres*

As normas descritas acima consideram um duto de aço protegido catodicamente quando for atendida uma das alternativas apresentadas abaixo:

- **ALTERNATIVA A:-** O potencial eletroquímico medido em relação a um eletrodo de cobre/sulfato de cobre seja igual ou negativamente superior a -0,85VCC.
- **ALTERNATIVA B:-** Apresentar uma polarização catódica superior a 100mVCC. Entende-se por polarização catódica a diferença de potencial existente entre o potencial natural do duto e o potencial obtido no momento exato do desligamento do retificador.

7- Manual de Pré-Operação do Sistema de Proteção Catódica

7.1 - Objetivo

Este Manual tem por objetivo apresentar as especificações mínimas para a pré- operação do sistema de proteção catódica.

7.2 - Pré-Operação do Sistema de Proteção Catódica

Para uma perfeita atuação da equipe encarregada da pré- operação do sistema de proteção catódica, esta deverá efetuar preliminarmente uma consulta ao projeto do sistema, atendendo-se para o posicionamento dos componentes do sistema, tais como retificador e pontos de teste.

Todas as medições de potencial eletroquímico, ou seja, as medições estrutura-solo aqui mencionadas, deverão ser realizadas com um eletrodo de referência em cobre/sulfato de cobre conectada ao negativo de um voltímetro de alta impedância interna. Este eletrodo de referência deverá sempre ser posicionada ao nível do solo e sobre a estrutura em teste.

Antes da energização de qualquer equipamento do sistema de proteção catódica, deverá ser efetuada uma medição do potencial estrutura-solo em todos os pontos de teste do sistema, devendo obrigatoriamente estes valores constar do Relatório Final da Pré-Operação. Estes valores de potencial estrutura-solo medidos sem a energização do sistema de proteção catódica serão considerados os "potenciais naturais" da estrutura.

Deverão ser efetuadas medições de potencial estrutura-solo em todos os pontos de teste do sistema de proteção catódica. Estas medições deverão ter uma duração mínima de 5 minutos em cada ponto de teste.

Durante as medições do potencial estrutura-solo deverão ser tomados as devidas precauções para estas medições não sejam efetuadas em conjunto com trabalhos de manutenção que exijam a utilização de máquinas de soldagem elétricas, o que levaria a influenciar nas medições efetuadas, alterando-as.

O sistema de proteção catódica implantado deverá ser ajustado de tal forma que os potenciais estrutura-solo medidos em todos os pontos de teste sejam iguais ou superiores negativamente a -0,85V ou então que apresentem uma polarização catódica mínima de 100mV.

Entende-se por polarização catódica a diferença de potencial existente entre o potencial natural da estrutura e o potencial estrutura-solo medido imediatamente após a desativação do sistema de proteção catódica implantado.

No caso da necessidade de obtenção do potencial de polarização catódica, para confirmação do nível de proteção atingido, deverá ser mantido um período de tempo de 30 dias entre a energização do sistema de proteção catódica e as medições estrutura-solo realizadas, isto com o objetivo de alcançar-se uma total polarização da estrutura.

7.3 - Inspeções Necessárias Durante a Fase de Pré-Operação

Durante e após a execução dos testes referentes a pré-operação do sistema de proteção de proteção catódica deverá efetuar-se uma inspeção geral nas suas instalações verificando se todas as instalações previstas em projeto foram executadas conforme o especificado, se o retificador encontra-se energizado e se os seus cabos de saída encontram-se com as polaridades corretas.

7.4 - Relatório de Pré-Operação do Sistema de Proteção Catódica

Após os trabalhos de pré-operação do sistema de proteção catódica deverá ser efetuado um relatório contendo no mínimo as seguintes informações:

- a) Descrição dos procedimentos adotados durante a fase de pré-operação do sistema,
- b) Relação dos instrumentos e acessórios utilizados, com as suas especificações técnicas e características,
- c) Descrição dos eventuais problemas detectados por ocasião da inspeção geral, dos testes de pré-operação do sistema e quais as soluções corretivas adotadas,
- d) Os resultados obtidos nas medições preliminares encontradas, inclusive os apontamentos do "potencial natural" da estrutura,
- e) As leituras apresentadas pelo retificador constando de tensão de entrada, tensão e corrente de saída, resistência elétrica do leito de ânodos, ajustes de taps encontrados, horímetro com o registro da data e hora em que foram efetuadas as medições,
- f) Os valores de potenciais eletroquímicos obtidos durante as várias etapas de ajuste da pré-operação do sistema, e
- g) Sugestões, recomendações ou eventuais alterações realizadas no projeto original e a justificativa de tais procedimentos.

7.5 - Inspeção por DCVG

A corrosão em tubulações metálicas é um processo eletroquímico, causado pela geração de pontos anódicos e catódicos na superfície do duto com o subsequente fluxo de tensão contínua entre estas áreas. Em pontos anódicos, são gerados elétrons graças à dissolução do metal. Estes elétrons viajam através do aço da tubulação para as zonas

catódicas onde são consumidos em reações de redução (oxidação). O circuito elétrico se completa mediante o fluxo iônico na terra entre o ponto catódico e o ponto anódico.

Para prevenir os danos causados pela corrosão externa, as tubulações são protegidas contra estes efeitos mediante uma combinação de revestimentos dielétricos e sistemas de proteção catódica. Os revestimentos dielétricos representam a primeira linha de defesa contra a corrosão externa. Ainda que os revestimentos geralmente proporcionem uma excelente proteção, a maioria deles se deteriorou com o tempo devido à absorção de água, pressões da terra, abrasão do solo, danos produzidos de raízes, ataque bacteriológico e por numerosas outras causas. Estes danos permitem que a corrosão ocorra nos lugares onde se produzem contatos entre o meio corrosivo (a terra) e as superfícies do aço expostas pelos defeitos do revestimento.

A proteção catódica tem a função de proteger a tubulação nos lugares onde o revestimento tenha falhado, atuando como uma segunda linha de defesa contra a corrosão externa. A proteção catódica efetua-se mediante o fornecimento de elétrons à estrutura metálica, tornando os valores de seus potenciais mais negativos em relação ao meio em que se encontra. Por definição, a corrosão ocorre quando os elétrons penetram a superfície metálica a partir do eletrólito. Quando estes elétrons são fornecidos externamente através do aço da tubulação (por proteção catódica), os mecanismos de corrosão são reduzidos a níveis insignificantes. Estes efeitos são complementados por mudanças eletroquímicas na terra (aumento de pH), causadas pelos subprodutos da aplicação de proteção catódica.

Atualmente na indústria, é aceito de forma geral que a combinação de revestimentos dielétricos com sistemas de proteção catódica é a medida mais eficiente para controlar os efeitos de corrosão externa em tubulações subterrâneas. Um fator menos compreendido é que este controle depende de um equilíbrio delicado entre o estado físico em que se encontra o revestimento e os níveis de proteção catódica. Para obter níveis eficientes de proteção catódica, os potenciais da tubulação devem ser mantidos entre as fronteiras de -850 mV "OFF" (potenciais menores negativamente serão identificados como valores de subproteção) e -1200 mV "OFF" (potenciais maiores negativamente serão identificados como valores de sobreproteção), isto de acordo com a *Norma da PETROBRAS N 2298 – Instalação e Pré-operação de Sistema de Proteção Catódica - Dutos Terrestres* e *NBR 15589-1:2016 - Indústria do petróleo e gás natural — Proteção catódica para sistemas de transporte de dutos Parte 1: Dutos terrestres*

Esta meta só é possível alcançar se existir uma distribuição controlada do perfil de potencial da tubulação dos pontos de potencial máximo (os retificadores ou ânodos galvânicos) aos pontos de potencial mínimo (as áreas remotas dos retificadores ou ânodos galvânicos). O ritmo de distribuição do potencial depende principalmente da condição do revestimento da tubulação, considerando o fator crítico para o correto funcionamento dos sistemas de proteção catódica.

Uma das metodologias empregadas para o controle de corrosão externa em tubulações subterrâneas consiste na verificação do seu revestimento externo empregando a técnica do DCVG (Direct Current Voltage Gradient).

A técnica do DCVG é um sistema desenvolvido para a detecção e a análise de defeitos no revestimento de tubulações subterrâneas. Os defeitos são localizados examinando-se os gradientes de potencial na terra que cobre as tubulações para determinar a direção do fluxo das tensões de proteção catódica. Dado que a proteção catódica atua em um fluxo de tensão direcionado aos pontos do aço expostos na tubulação, os defeitos no revestimento podem ser localizados individualmente. Uma vez localizado o defeito, determina-se sua importância considerando os quatro parâmetros seguintes:

Parâmetro 1:- Tamanho do Defeito: o tamanho do defeito é determinado medindo-se a perda de potencial entre o epicentro do defeito e o terra remoto. Este valor se expressa como uma fração da variação de potencial da tubulação (o aumento de potencial devido à aplicação de proteção catódica) para calcular uma porcentagem denominada % IR. Os defeitos são designados para as quatro categorias seguintes segundo seus respectivos valores de % IR:

- a) **Categoria 1: (>61 % IR):-** Os defeitos de revestimento de Categoria 1 são considerados críticos dado que o alto tamanho de aço exposto a terra impede o funcionamento adequado dos sistemas de proteção catódica aumentando os riscos de corrosão. O inevitável consumo de tensão relacionado a estes defeitos também impede a proteção adequada em zonas mais remotas no que diz respeito aos pontos de fornecimento de proteção catódica.
- b) **Categoria 2: (35-61 % IR):-** Os defeitos de revestimento de Categoria 2 representam amplas áreas de aço em contato com a terra. Estes defeitos geram altos consumos de tensões de proteção catódica e impedem uma boa distribuição de tensão a partir dos pontos de fornecimento de proteção catódica.
- c) **Categoria 3: (16-35 % IR):-** Os defeitos de revestimento de Categoria 3 representam áreas médias de aço em contato com a terra causando consumos moderados de tensões de proteção catódica.
- d) **Categoria 4: (<16 % IR):-** Os defeitos de revestimento de Categoria 4 representam pequenas áreas de aço em contato com a terra. Os defeitos são considerados de menor importância dado que os sistemas de proteção catódica podem proteger estes pontos ao longo prazo.

É importante destacar que as estimativas de % IR nem sempre estão relacionadas de forma direta com os tamanhos físicos dos defeitos do revestimento. Existem casos onde a aplicação de proteção catódica gera capas de depósitos calcários e/ou magnetita sobre as superfícies de aço expostas por defeitos do revestimento. Estas

capas apresentam uma alta resistência ao circuito de proteção catódica e atuam como um revestimento secundário para a proteção das tubulações. Nestes casos, as estimativas de % IR consideram que ambos os “revestimentos” e os tamanhos físicos dos defeitos se apresentam inferiores aos antecipados. Nestes casos onde existem baixos níveis de proteção catódica e/ou a presença de terras ácidas que inibem a formação das capas calcárias, os tamanhos físicos dos defeitos se mostram superiores aos antecipados.

Parâmetro 2:- Comprimento do Defeito: operadores experimentados no sistema de DCVG podem determinar o comprimento aproximado dos defeitos do revestimento mediante o exame dos gradientes de potencial ao seu redor. Estes dados fornecem informações críticas relativas ao comprimento de escavações e a quantidade de materiais e recursos necessários para efetuar os reparos.

Parâmetro 3:- Estado de Corrosão do Defeito: o DCVG fornece informações adicionais acerca do estado de corrosão de cada defeito. Foi dito anteriormente que a técnica é capaz de determinar a direção do fluxo de tensão pela terra que cobre os dutos. Dado que a corrosão resulta no fluxo de tensão a partir dos defeitos e a proteção catódica resulta no fluxo em direção aos defeitos, é possível determinar individualmente o estado de corrosão de cada defeito. Esta aplicação do DCVG demonstra ser particularmente útil durante a detecção de ânodos galvânicos.

Parâmetro 4:- Influência do Defeito em Relação a Interferências Elétricas: operadores experientes com o sistema de DCVG podem realizar investigações de interferências elétricas a partir de dutos de terceiros assim como em direção aos dutos de terceiros. Interferências oriundas de dutos de terceiros registrarão sinais anódicos na própria tubulação. Interferências em direção aos dutos de terceiros registrarão sinais anódicos na tubulação de terceiros. O sistema de DCVG também representa uma ferramenta ágil para a detecção e determinação do fluxo das tensões de interferência no solo entre a tubulação própria e a tubulação de terceiros.

Em resumo, a técnica de DCVG cumpre as seguintes funções:

- Detecção exata dos defeitos no revestimento do duto.
- Avaliação do tamanho dos defeitos.
- Avaliação do comprimento dos defeitos.
- Avaliação do estado atual de corrosão do aço exposto graças aos defeitos.
- Detecção de ânodos galvânicos.
- Investigação de zonas com possíveis interferências elétricas.

A inspeção por DCVG consiste na efetuação de inspeção de revestimento externo de tubulações enterradas. Por este método pode-se localizar falhas neste revestimento com até menos de 1 cm de diâmetro, onde um inspetor caminha sobre o duto efetuando a medição da diferença de potencial entre dois eletrodos de referência especialmente desenvolvidos e posicionados sobre o duto. Estas medições são efetuadas a uma média de 7.200 leituras por segundo, podendo este tipo de teste ser efetuado em travessias de rios, igarapés e áreas alagadas.