



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**



**VICTORIA DE LIMA VIANA REBELO**

**INTERFERÊNCIAS NOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO CATÓDICA EM  
TUBULAÇÕES ENTERRADAS: ESTUDO DE CASO**

Maceió

2020

VICTORIA DE LIMA VIANA REBELO

**INTERFERÊNCIAS NOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO CATÓDICA EM  
TUBULAÇÕES ENTERRADAS: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Profa. Dra. Dayana de Gusmão Coelho

Maceió

2020

**Folha de Aprovação****VICTORIA DE LIMA VIANA REBELO****Interferências nos sistemas de proteção catódica em tubulações enterradas: estudo de caso**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em 27 de fevereiro de 2020.



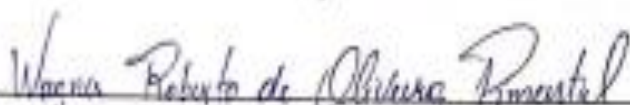
---

Prof. Dra. Dayana de Gusmão Coelho

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Almir Marques da Silva



---

Prof. Dr. Wagner Roberto de Oliveira Pimentel

A Deus, a minha família e as meus amigos... que estiveram comigo em todos os momentos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela saúde, disposição e por ter enviado pessoas que me auxiliaram permitindo a realização deste trabalho.

A minha avó que em uma máquina de costura me fez enxergar que a vida é construída por etapas, como uma roupa.

A minha mãe que me apoiou, permitiu e incentivou o estudo, sendo forçada a ser forte e guerreira todos os dias, sendo orando e intercedendo por minha vida.

Aos meus amigos pela compreensão e por me tirar sempre dos dias de aflição e ansiedade.

A toda a equipe da Gerência de Operação da Companhia de Gás de Alagoas, por estar sempre disponível a me ensinar e mostrar todos os caminhos possíveis para desenvolver esse trabalho.

À querida e amada professora Dayana de Gusmão Coêlho por ser a orientadora e amiga mais fiel que eu poderia ter encontrado durante a graduação.

A equipe de amigos da graduação que foram essenciais para alcançar a aprovação nas matérias, quando nem eu mesmo acreditava em uma possível aprovação.

Agradeço também a todos que uma alguma forma contribuíram para a realização deste estudo.

“Ora, **aquele que é poderoso para fazer** infinitamente mais do que tudo quanto pedimos ou pensamos, conforme o seu poder que opera em nós, a ele seja a glória, na igreja e em Cristo Jesus, por todas as gerações, para todo o sempre. Amém!”  
(Efésios 3:20-21)

## RESUMO

A distribuição de gás natural se dá por meio da utilização de gasodutos, estruturas submersas. Dessa forma, o difícil acesso à estrutura evidencia a necessidade de protegê-la das interações naturais com o solo e com outros fatores naturais. Sendo assim, são utilizados os princípios da proteção catódica a fim de evitar o processo corrosivo. Dessa maneira, o trabalho proposto tem como objetivo avaliar os fatores que levam a interferência nos sistemas de proteção catódica em linhas de gasodutos próximas, a fim de evitar as falhas de proteção nas instalações, evitando a corrosão dos dutos enterrados. Assim foram avaliados fatores que podem influenciar na interação entre a fuga de corrente, além dos principais aspectos relacionados à proteção catódica e a atuação do método de proteção. Com isso, foi observado dentro dos experimentos que ao fazer verificação do potencial do cupom de corrosão, simulando a tubulação desprotegida, o mesmo apresentava -0,641. Tais resultados permitiram admitir que o sistema se encontra com falha em sua atuação e suscetível ao processo. Assim, foi possível sugerir as mitigações para a perturbação e atividade corrosiva no sistema de proteção catódica do trecho circunvizinho a Estação de Transferência de Custódia.

**Palavras-chave:** Tubulações enterradas ou submersas. Corrosão. Proteção catódica.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Gás Natural .....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Cadeia Produtiva de Gás Natural .....	13
3.1.2 Gás Natural em Alagoas .....	14
<b>3.2 Corrosão .....</b>	<b>15</b>
3.2.1 Tipos de Corrosão .....	16
3.2.2 Mecanismos de Proteção .....	17
<b>3.3 Princípios de Proteção Catódica.....</b>	<b>20</b>
3.3.1 Termos e Definições Inerentes à Proteção Catódica.....	21
3.3.2 Tipos de Proteção .....	22
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Localização do Estudo.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2 Avaliação da Agressividade do Solo .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 Levantamento de Dados da Estrutura.....</b>	<b>31</b>
<b>4.4 Pesquisa de Corrente de Interferência .....</b>	<b>32</b>
<b>4.5 Teste de Desligamento do Retificador .....</b>	<b>32</b>
<b>4.6 Simulação com Cupom de Corrosão .....</b>	<b>32</b>
<b>4.7 Fluxograma do Estudo .....</b>	<b>33</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1 Definição da Rota do Estudo.....</b>	<b>35</b>
<b>5.2 Avaliação da Agressividade do Solo .....</b>	<b>35</b>
<b>5.3 Levantamento de Dados da Estrutura.....</b>	<b>36</b>
<b>5.4 Pesquisa de Corrente de Interferência .....</b>	<b>39</b>
<b>5.5 Teste de Desligamento do Retificador .....</b>	<b>40</b>
<b>5.6 Simulação com Cupom de Corrosão .....</b>	<b>43</b>
<b>5.7 Sugestão de Melhorias.....</b>	<b>45</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O gás natural tornou-se um recurso estratégico para os países que investem no desenvolvimento de uma economia competitiva e no melhor aproveitamento de suas reservas energéticas. Mais limpo que outros combustíveis fósseis, como o carvão ou o óleo combustível, o gás natural também vem se tornando mais competitivo em preço (CNI, 2014 p.17).

Com o crescimento da consciência ambiental, a busca por uma fonte de energia limpa e sustentável determina o aproveitamento de recursos que colaborem com o meio ambiente. O gás natural apresenta uma combustão limpa, uma vez que a mesma é completa, liberando apenas produtos como o dióxido de carbono e vapor de água, resultando num baixo impacto ambiental (BUNARI, *et al.*, 2009). Desse modo, por não gerar rejeitos agressivos e ser economicamente atrativo, o gás natural tem ganhado espaço na matriz energética nacional.

Determinada pelo Balanço Energético Nacional (2018) a participação do gás natural na matriz energética brasileira vem crescendo e alcançou o patamar de 13%. Além disto, segundo dados disponibilizados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2018), a produção de gás obteve uma média de 115 milhões de m<sup>3</sup> por dia. Mostrando, desse modo, que a utilização do gás natural tem crescido de maneira substancial devida a versatilidade de sua aplicação nos transportes, geração de energia e combustíveis para indústrias.

No estado de Alagoas, a produção de gás natural corresponde a cerca de 22% (ANP, 2018) da produção nacional, apresentando em sua disposição geográfica, aproximadamente 10% das reservas brasileira. O sistema de distribuição de gás natural canalizado em Alagoas possui 513,15 km de extensão e atende 9.846 unidades consumidoras, sendo 9.141 do segmento residencial, 633 estabelecimentos comerciais, seis unidades de cogeração, 37 indústrias e 29 postos automotivos, nos municípios de Maceió, Arapiraca, Rio Largo, Santa Luzia do Norte, Pilar, Marechal Deodoro, Atalaia, Penedo e Satuba que consomem diariamente aproximadamente 620 mil m<sup>3</sup> de gás natural (ARSAL, 2018).

Para o transporte do gás natural, é necessária uma infraestrutura formada por tubulações, que por se referir a movimentação de gás, é constituída por gasodutos e instalações necessárias à segurança. No geral, a rede de transmissão do gás natural é feita por linhas subterrâneas, onde toda a rede deve ser cadastrada e ser regulamentada conforme a “Lei do Gás” (nº 11909, de 4 de março de 2009).

As concessionárias de distribuição de gás devem cumprir as leis ambientais para as instalações subterrâneas. Entretanto, os equipamentos são submetidos a interações com o meio e por isso podem sofrer processos de deterioração. Dessa maneira, para que tais equipamentos

resistam às ações do meio, como também se tornem imunes ao seu ataque, são aplicadas técnicas de combate à corrosão.

É importante ressaltar que de acordo com Gentil (2011), a corrosão é determinada pela ação do meio em relação aos materiais envolvidos, abrangendo materiais metálicos e não metálicos. Quando relacionado aos metais, a corrosão metálica se determina pela degradação do mesmo através da ação química ou eletroquímica do meio, que pode ter sido influenciada por uma ação física. De modo geral, quando referida às tubulações enterradas, o processo ocorre de corrosão por meio de reações eletroquímicas, onde são utilizados revestimentos protetores, como também, proteção catódica (DUTRA, 2011).

Diante do desenvolvimento dos polímeros, foram expostos ao mercado materiais com alta eficiência anticorrosiva para os revestimentos de tubulações enterradas. Atualmente, os tubos aço-carbono são envolvidos por um padrão de tripla camada, composto por um primer de FBE (*Fusion Bonded Epoxy*), em sua camada média, um adesivo *hot melt* (polímeros termofundíveis que não possui solventes na sua composição, conhecido como cola quente) e, em sua parte externa, o polietileno ou polipropileno extrudado (espuma rígida de poliestireno) (KOEBSCH et.al., 2011).

Além disto, dentro de uma instalação metálica enterrada ou submersa, existirá constantemente um fluxo de corrente, através do eletrólito. Com o objetivo de atingir a polarização na superfície da instalação, se faz necessária a análise das condições de passagem de corrente. Um mecanismo de proteção viável é o desenvolvimento de um comportamento catódico fazendo com que a estrutura seja conservada pela ação da proteção catódica (DUTRA, 2011).

Dessa forma, o presente estudo se destina a descrever as alterações físicas e elétricas no sistema de proteção catódica, quando as distribuições das linhas de tubulações se encontram próximas. Além disso, verificar as falhas que tais fatores introduzirão no sistema e propor uma solução efetiva para o caso estudado.

## 2. OBJETIVOS

O presente estudo destina-se a analisar os efeitos interativos nos sistemas de proteção catódica entre tubulações enterradas no município de Rio Largo.

Para a obtenção do objetivo geral do estudo foram estabelecidas as seguintes atividades específicas:

- Levantar dados bibliográficos sobre o fenômeno de corrosão em dutos enterrados;
- Determinar os fatores naturais interligados ao processo corrosivo;
- Apontar as vantagens e desvantagens do sistema de proteção catódica;
- Verificar o comportamento do sistema dimensionado por meio da coleta de amostras;
- Demonstrar a interferência causada pela proximidade dos dutos;
- Propor medidas mitigadoras para o caso estudado.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A corrosão é um fenômeno que representa diversos custos para os setores industriais. Em estruturas enterradas, pode ter como fonte de causa as propriedades físico-químicas e biológicas como fatores externos. De forma que são necessários métodos de combate à ação corrosiva, utilizando revestimentos apropriados, bem como técnicas de proteção catódica (GENTIL 2011).

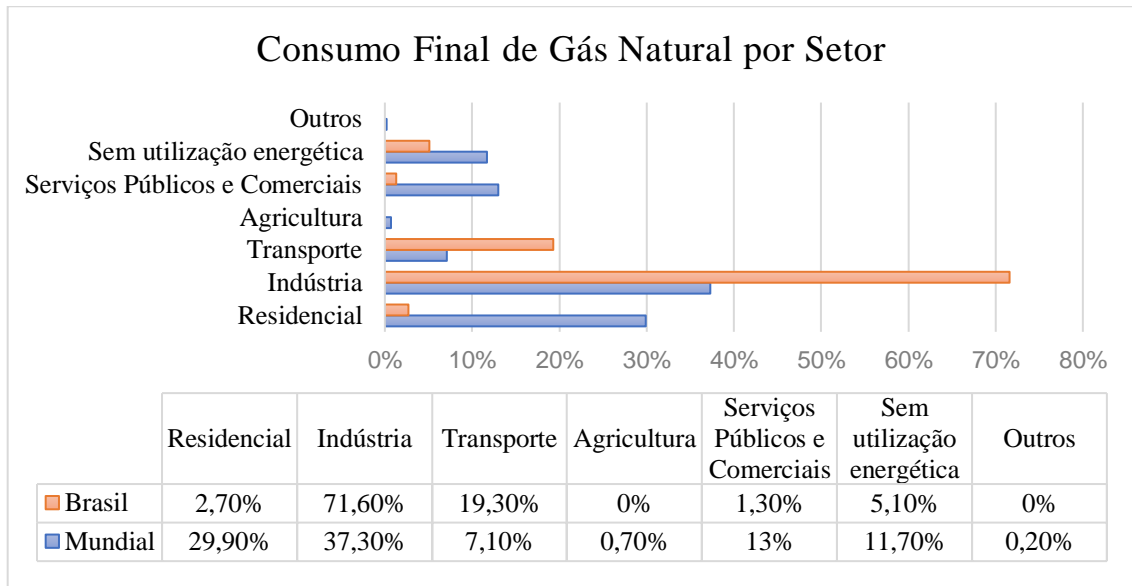
#### **3.1 Gás Natural**

O aumento do consumo de energia no planeta, em detrimento às dificuldades da oferta, à previsão de declínio das reservas de petróleo em algumas décadas e aos problemas ambientais associados, obrigou muitos países a investirem em energias renováveis e não poluentes, para diversificar suas matrizes energéticas e diminuir a forte dependência do petróleo, que ainda responde por mais de 40% do consumo mundial. Neste cenário, tais fatores têm levado ao aumento do consumo do gás natural, pois, embora seja um energético não renovável, seus reservatórios estão em abundância e sua queima polui bem menos que a dos outros combustíveis fósseis (TEIXEIRA, 2015).

Segundo o IBGE (2018), o Brasil teve um crescimento populacional de aproximadamente 1% de 2017 a 2018, de modo semelhante, o PIB (Produto Interno Bruto), teve uma ascensão de 1,1%. Esses fatores tornam necessárias medidas para obtenção de energia para suprimento da sociedade. O gás natural tem um acréscimo na matriz energética, pois sua aplicação está ligada a geração de energia, transporte e combustível para atividades industriais, o que torna esse combustível mais atraente. Apesar de não ser um recurso renovável, as reservas de gás naturais são abundantes o que leva a uma exploração mais efetiva.

A indústria do gás pode representar um importante motor de desenvolvimento econômico, sendo necessária a compreensão das dimensões que o envolve, desde a sua produção até a aplicação ao consumidor final. Nessa perspectiva, é possível observar as áreas nas quais as possibilidades de oferta de gás natural, no mercado mundial e nacional, se segmentam para o consumo em blocos, conforme apresentado na Figura 1.

**Figura1:** Consumo Final de Gás Natural por Setor no Brasil e no Mundo



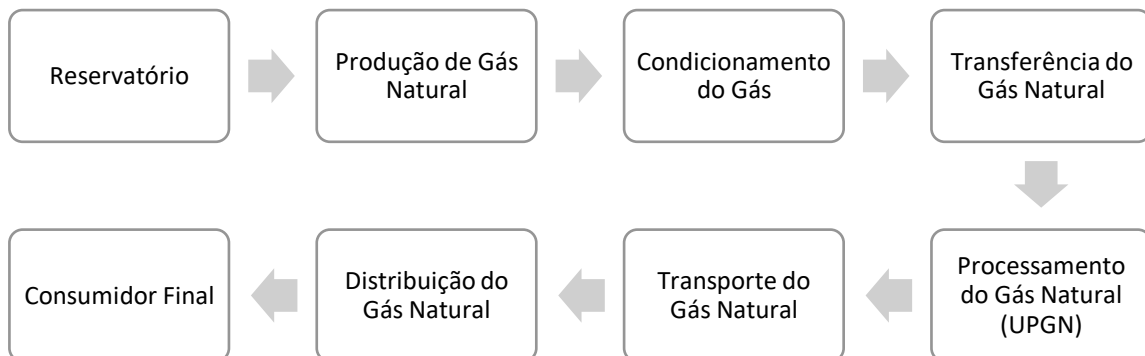
Fonte: IEA Gas Information, 2016

A primeira etapa para se explorar o gás natural é verificar a existência de bacias sedimentares que possuam rochas reservatórias ricas na acumulação de hidrocarbonetos (compostos formados por carbono e hidrogênio). O Brasil possui 29 bacias sedimentares principais, que se distribuem por mais de 6,4 milhões de quilômetros quadrados. (VAZ; MAIA; SANTOS, 2008, p. 84). Segundo ANP (2018), a produção de gás obteve uma média de 115 milhões de m<sup>3</sup> por dia dividido entre as bacias presentes no território nacional.

### 3.1.1 Cadeia Produtiva de Gás Natural

Para a movimentação do gás os principais participantes da cadeia são responsáveis pela qualidade e quantidade de gás natural entregue ao consumidor final. O fluxograma da Figura 2, ilustra a cadeia de valor na qual o gás natural é submetido.

**Figura 2:** Cadeia de Valor Gás Natural

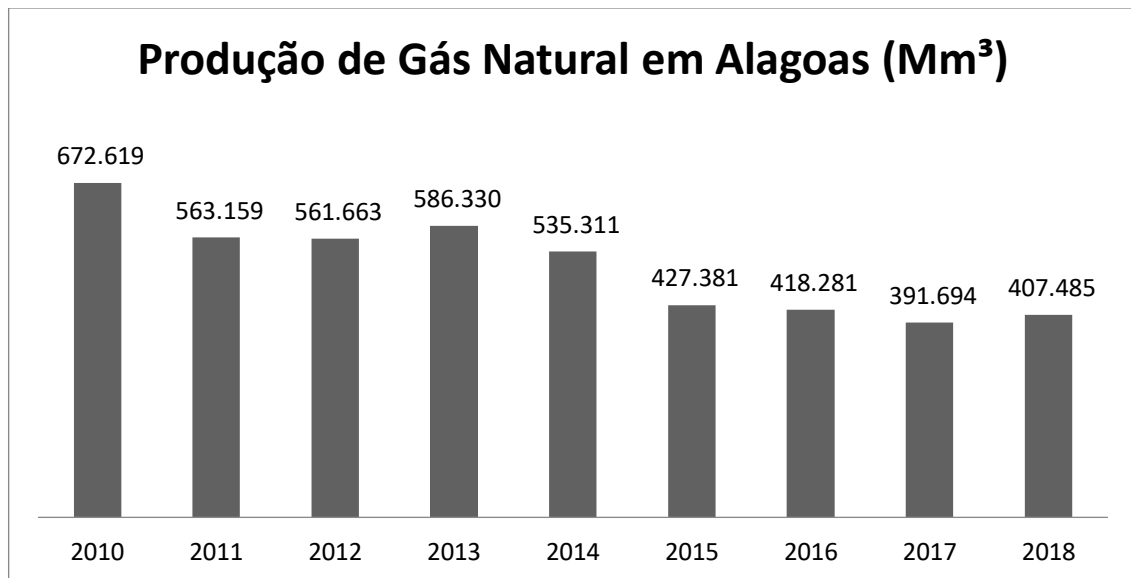


Fonte: Autor, 2019

### 3.1.2 Gás Natural em Alagoas

Dados da ANP (2018) apontaram Alagoas como terceiro maior produtor de gás natural do país. A produção do estado de Alagoas, associados os valores de exploração de gás natural por terra e por mar, constam no Figura 3.

**Figura 3:** Produção de Gás Natural em Alagoas



Fonte: ANP, 2018

### 3.1.3 Distribuição de Gás Natural

As atividades da cadeia distribuição do gás natural, são de responsabilidade de empresas distribuidoras estaduais, que abrange as estações de transferência de custódia (ETC) até o consumidor final. A diferença entre a etapa de Transporte e a de Distribuição está na responsabilidade do seu condutor, no trajeto do deslocamento e nos volumes envolvidos. Ocorre o Transporte quando se desloca grandes volumes de gás através de gasodutos de grande diâmetro, desde os campos de produção até as ETC (TEIXEIRA, 2015).

Para decidir qual a melhor forma de transporte ou distribuição de gás natural, é feita usualmente uma análise de custos. É importante avaliar quais os aspectos que afetam a implantação da infraestrutura necessária. As dificuldades do relevo, travessias de rios, cruzamentos de rodovias, bem como, cruzamento com outras tubulações, devem ser analisados, observando também as características da população local.

Quanto aos aspectos operacionais e de segurança, vale destacar os padrões rígidos de especificação que o GN deve atender em relação à presença de contaminantes que possam danificar os equipamentos dos consumidores. Exceto para algumas indústrias, também é

realizada a odorização do gás, adicionando compostos de enxofre (chamados de mercaptanas), que permitem sua rápida detecção em caso de vazamentos. Além disso, são instaladas válvulas de bloqueio ao longo da rede, para conter uma eventual descompressão, e válvulas de alívio ou purga de gás para evitar que aumentos bruscos de pressões danifiquem os aparelhos à jusante (TEIXEIRA, 2015, p. 36).

Além dos cuidados com os equipamentos de segurança, devem-se observar os métodos para proteção dos mesmos. As interações com o meio podem acelerar processos de deterioração, para que os mesmos resistam às ações do meio, como também se tornem imunes ao seu ataque, são aplicadas técnicas de combate à corrosão. De maneira geral, por se tratar de tubulações enterradas, o cuidado contra a corrosão é feito por meio de técnicas de revestimento e proteção catódica (LEMUCHI & GUDME, 2011).

### **3.2 Corrosão**

Segundo estudos da entidade Internacional Zinc Association (IZA), com auxílio da Universidade de São Paulo (USP) em 2015, os gastos com corrosão no Brasil determinam cerca de 4% do PIB, atingindo o patamar de bilhões. A representação desse desgaste gradual do metal gera um grande custo para o setor industrial, pois a deterioração dos materiais por meio da corrosão ocorre de maneira espontânea, através do determinismo termodinâmico.

A extração dos metais de seu minério geralmente é feita na forma de óxidos de metal, sulfetos ou silicatos (LADEIRA et. al., 2014), e o mesmo tem uma disposição natural a retornar ao seu estado inicial com efeito da ação do meio. O minério é o estado de mais baixa energia do metal, por ser seu estado mais estável termodinamicamente. Com isso, para que o mesmo se aplique a um processo metalúrgico, se faz necessário um fornecimento de energia (CASTRO, 2006).

De modo contrário, por meio de um processo exotérmico, com a liberação de energia, os metais reagem com elementos como o  $O_2$ ,  $H_2O$  e  $CO_2$ , entrando num estado de equilíbrio metaestável. Por estar fora do seu estado de estabilidade, o metal tem uma tendência a buscar sua forma inicial e esse processo é viabilizado pela corrosão. Como consequência, os métodos de proteção anticorrosiva devem assegurar que seja cedida uma quantidade adicional de energia de modo contínuo ao metal em questão (GENTIL, 2011).

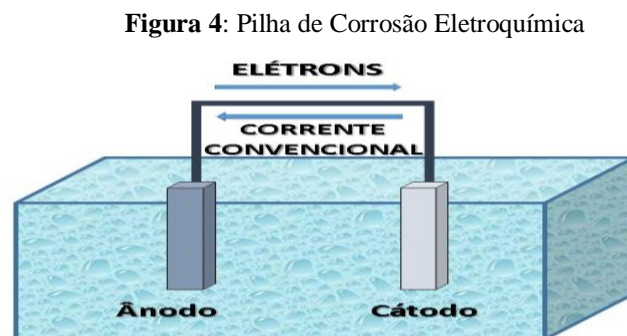
De acordo com Telles (2012), o fenômeno de corrosão determina a destruição dos metais por uma ação química ou eletroquímica do meio. O mecanismo químico da corrosão tem uma

delimitação menor que o mecanismo eletroquímico, pois o mesmo ocorre através da reação química do metal com o agente corrosivo. Um exemplo do mecanismo químico é a oxidação, onde a interação do metal e agente corrosivo produz uma película na superfície do metal, que pode servir como proteção, inclusive.

Para Pires, Palmieri e Lanfredi (2011) o mecanismo eletroquímico é caracterizado por apresentar um eletrólito, que é um condutor elétrico. As reações de corrosão para esse mecanismo são divididas parcialmente em reações anódicas e reações catódicas. Reações anódicas tem caráter oxidativo, ou seja, são reações que perdem elétrons, enquanto que as reações catódicas são reações que ocorrem por meio do ganho de elétrons, com caráter redutor.

Ao conjunto formado entre o metal e o eletrólito, designa-se meia-pilha, semicélula, meia-célula ou eletrodo, e esse irá gerar uma diferença de potencial elétrico. Como o valor desta diferença depende de muitos fatores, como eletrólito, concentração, temperatura e outros, a medição direta se tornou infactível, sendo desenvolvido um eletrodo de referência, ou eletrodo normal de hidrogênio (GENTIL, 2011).

Seguindo o princípio do mecanismo eletroquímico, uma pilha de corrosão, é a união de dois metais que são ligados a um eletrólito. Um metal funciona apenas como suporte para a reação de redução, ganhando elétrons, sem participar da reação. Essa condição do metal, é a essência do mecanismo de proteção catódica e pode ser demonstrado na Figura 4.



Fonte: Autor, 2019

### 3.2.1 Tipos de Corrosão

Segundo a Dutra (2011), o mecanismo eletroquímico tem uma aplicação ampla e a natureza do meio corrosivo é um fator determinante para as condições particulares dos processos de corrosão. Os principais tipos de corrosão, são listados abaixo:



- a) Corrosão galvânica: Processo corrosivo resultante do contato elétrico de materiais diferentes com um eletrólito;
- b) Corrosão em frestas: Processo corrosivo resultante da aeração diferencial ou concentração diferencial, geralmente ocorre em juntas soldadas com chapas sobrepostas;
- c) Corrosão atmosférica: Processo corrosivo resultante da umidade relativa do ar, com o teor de sais em suspensões e o teor de gases poluentes;
- d) Corrosão do solo: Processo corrosivo observado em estruturas enterradas devido ao teor da umidade, a composição química e o pH do solo;
- e) Corrosão pela água: Processo corrosivo resultante do contato de estruturas com o meio aquoso;
- f) Corrosão por bactérias ou Corrosão microbiológica: Processo corrosivo desenvolvido por certos tipos de bactérias;
- g) Corrosão eletrolítica: Processo corrosivo em estruturas metálicas enterradas, resultante de um fluxo indesejável de corrente contínua;
- h) Corrosão em concreto: Processo corrosivo observado na ferragem de reforço do concreto armado, ou na argamassa de cimento;
- i) Corrosão sob fadiga: Processo corrosivo decorrente do desgaste mecânico dos materiais sujeitos a esforços cíclicos;
- j) Corrosão sob tensão: Processo corrosivo decorrente das tensões estáticas de tração.

### 3.2.2 Mecanismos de Proteção

Para cada tipo de corrosão existe um mecanismo de combate específico, sendo o revestimento associado a proteção catódica um dos principais mecanismos aplicáveis à corrosão eletroquímica.

#### 3.2.2.1 Métodos de proteção baseados no material metálico

Um material ou liga metálica é considerado resistente à corrosão, quando o mesmo é capaz de se passivar formando um filme superficial que é capaz de se proteger contra a corrosão, e continuar passivado no meio, além de apresentar uma baixa taxa de corrosão (RIBEIRO et. al., 2012).

Em alguns casos, a utilização de um material mais resistente significa um alto valor agregado, sendo uma medida inviável para a ação anticorrosiva na maioria dos setores da indústria. É capaz de se obter um aumento da resistência à corrosão ao se aplicar um tratamento

térmico. Esse tratamento é capaz de diminuir as tensões internas do material, reduzindo a ação das pilhas de corrosão (GENTIL, 2011).

### 3.2.2.2 Métodos de proteção baseados nas modificações do meio corrosivo

Algumas das características físicas ou químicas do meio podem ser avaliadas a fim de modificar sua agressividade em relação ao material. A diminuição da temperatura ou da velocidade do eletrólito são exemplos de fatores que diminuem a taxa de corrosão. Além disso, pode ser aplicado o processo de desaeração, que consiste em retirar os gases não condensáveis dissolvidos na água, promovendo uma maior polarização das áreas catódicas, o que diminui a agressividade do meio.

De outra maneira, uma forma de diminuir a taxa de corrosão é a adição de inibidores de corrosão, que são compostos químicos anódicos, catódicos ou formadores de película passivadora, capazes de modificar o potencial do material no sentido mais nobre, tornando a superfície apassivada.

### 3.2.2.3 Métodos de proteção baseados na utilização de revestimentos protetores

Os revestimentos protetores são aplicados na superfície dos materiais, formando uma barreira entre o metal e o meio. Os revestimentos protetores podem ser classificados de acordo com sua natureza, orgânicos, inorgânicos ou metálicos.

#### a. Revestimentos orgânicos

O revestimento orgânico mais comum é a pintura industrial que é facilmente utilizada em equipamentos de fácil manutenção periódica, com a utilização de tintas para a formação da barreira anticorrosiva. Alguns materiais como plásticos e borrachas também podem ser utilizados para o recobrimento da superfície metálica.

Em relação a tubulações enterradas ou submersas, tais como oleodutos, ou gasodutos, o revestimento precisa ser de alta espessura e possuir características como, baixa taxa de absorção da água, boa e permanente aderência ao tubo, resistividade elétrica, mecânica, a alcalinidade, a acidez, aos sais e bactérias do solo, ser de fácil aplicável, ser durável e econômico.

Entretanto, revestimentos em materiais nessas condições não costumam apresentar todas as características capazes de tornar o conjunto totalmente revestido. Dessa forma, foram

desenvolvidos diversos revestimentos que são manuseados em tubulações submersas ou enterradas.

*Revestimento com esmalte de alcatrão de hulha (coal-tar):* A pintura com esmalte de alcatrão de hulha apresenta uma queda na resistividade elétrica expressiva depois de 10 anos de aplicado, por esse motivo há a necessidade de reparos. O mesmo ainda possui uma rigorosa legislação em termos de preservação do meio ambiente e uma forte degradação devido à ação dos raios solares. Atualmente, sua aplicação tem sido reduzida devido ao aparecimento de revestimentos modernos à base de polímeros.

*Revestimento misto à base de epóxi e polietileno ou polipropileno extrudado:* Conhecido como tripla camada, atualmente é o melhor revestimento anticorrosivo de dutos. Tem uma aplicação em 3 camadas, a primeira é um primer de base epóxi em pó (*Fusion Bonded Epoxi*), seguida por uma camada de um adesivo a base de polietileno modificado e por fim, uma camada de polietileno. Destaca-se por apresentar boa aderência, resistência corrosiva, mecânica e ao descolamento catódico, conforme a Figura 5 (KOEBSCH et. al., 2011).

**Figura 5:** Tubo de aço carbono revestido



Fonte: Revista química e derivados, p. 12, 2011

#### b. Revestimentos inorgânicos

Formado pela aplicação de uma película não metálica entre o meio e o metal que se quer proteger. Alguns exemplos são: anodização, cromatização, fosfatização, argamassa de cimento, revestimento com vidro e outros.

#### c. Revestimento metálico

Consiste no método de proteção por barreira utilizando uma película de metal (ou uma chapa), necessitando assim, de outros mecanismos de proteção, como passivação e proteção catódica. Alguns exemplos são: cladização, lining ou recobrimento, imersão a quente, metalização, eletrodeposição e deposição química.

*Proteção catódica:* A proteção catódica é o principal método aplicado em tubulações enterradas ou submersas, consiste na transformação da estrutura que se quer proteger em um cátodo de uma célula eletroquímica.

*Proteção anódica:* Método em que é aplicado na superfície um potencial anódico dentro do domínio de passividade do metal no meio. Esse método é bastante aplicado em eletrólitos de alta agressividade, como tanque metálicos e em digestores das fábricas de celulose.

### **3.3 Princípios de Proteção Catódica**

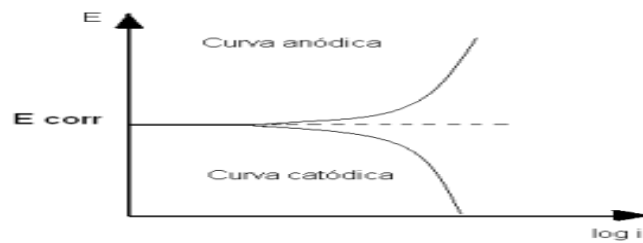
A proteção catódica atende aos princípios do mecanismo da corrosão eletroquímica, ou seja, ocorre sempre que se tem contato entre uma estrutura metálica e um eletrólito, na qual se formam pilhas de corrosão (área anódicas e catódicas), pela diferença dos metais, tensões internas ou diferença na composição do eletrólito (SILVA, 2007).

Considerando as características individuais dos materiais e os princípios termodinâmicos, Pourbaix (1904-1998), descobriu a existência das relações entre o potencial de eletrodo e o pH das soluções, para os sistemas em equilíbrio. Seus estudos foram demonstrados graficamente, dando origem ao Diagrama de Pourbaix.

Em relação ao Diagrama de Pourbaix, proteger catodicamente é polarizar o material até que o seu potencial de eletrodo alcance uma região de imunidade. A cinética do processo é fundamental, uma vez que uma pequena variação na corrente catódica provoca uma grande variação na corrente anódica e o sistema se apresenta sob o controle catódico. De modo contrário, o sistema se encontra sob controle anódico.

Para um sistema ideal, a proteção catódica deve controlar a corrente para anular o processo corrosivo por meio de uma distribuição uniforme. Entretanto, sob algumas condições ruins de manutenção, solo ou proximidade com outras estruturas metálicas, a corrente não percorre o caminho desejado, tornando o metal passível de corrosão (MELLO et. al., 2007).

A aplicação da proteção catódica é conveniente quando o sistema considerado apresenta controle catódico, podendo ser considerado como uma pilha de eletrodos múltiplos. Na prática, o mecanismo de proteção catódica pode ser analisado pelo diagrama de polarização, conforme ilustrado na Figura 6.

**Figura 6:** Curva de polarização catódica e anódica

Fonte: Galvão, 2008

### 3.3.1 Termos e Definições Inerentes à Proteção Catódica

- RDGN: Rede de Distribuição de Gás Natural.
- RETIFICADOR: Equipamento utilizado para fornecer a corrente necessária para promover o equilíbrio de potencial estrutura-eletrólito.
- ANODO: Metal de sacrifício que se oxida evitando a oxidação do metal protegido.
- LEITO DE ANODO: Conjunto de anodos instalados para dispersar de forma mais abrangente (reduzindo a resistência final do sistema) a corrente do Retificador, de maneira a alcançar o mais distante possível, os pontos de falhas na RDGN.
- PTE'S: Pontos de Testes ou estação de monitoramento, existentes na extensão dos dutos, para permitir medições de Potenciais tubo/solo dos dutos enterrados (tais instalações incluem cabeamento e conexões aos dutos).
- Junta ou Flanges de Isolamento: Componentes que proporcionam isolamento elétrico, inserido entre dois trechos de uma tubulação para impedir a continuidade elétrica entre eles.
- DPS: Dispositivo de Proteção contra Surtos de tensão, componente que se destina a limitar sobre tensões transitórias e correntes diretas de surtos.
- Eletrodo de referência (semi célula): Eletrodo cujo potencial é constante e reproduzível, que é utilizado como referência nas medições dos potenciais tubo solo de sistemas de proteção catódica.
- Centelhador Isolante (ISG Isolating Spark Gap): Componente de proteção elétrica de instalações condutoras e isoladas entre si.
- CUPOM: Amostra de metal com dimensões definidas, feito de material do duto (ou similar), que serve para simular uma falha do duto, para permitir a avaliação periódica

de eventuais perdas de massa e também para ensaios ON/OFF (avaliação de potenciais tubo solo OFF de proteção).

- Corrente de Interferência: A correntes que flui através de caminhos diferente dos circuitos previstos.
- Ponto de medição: É o local onde ocorre a medição de potencial propriamente dita.
- Potencial de proteção: Potencial tubo solo (Tubo Eletrólito), para o qual a taxa de corrosão do metal é aceitável para o duto.
- Potencial Natural: Potencial tubo eletrólito (passível de corrosão), medido numa tubulação, quando a mesma foi recentemente construída ou quando essa está despolarizada (sem estar interligada à um sistema de proteção catódica).
- Potencial ON: Potencial tubo eletrólito, medido durante a operação continua do sistema de proteção catódica.
- Potencial OFF: Potencial tubo eletrólito, que é medido imediatamente após o desligamento de todas as fontes de corrente de proteção catódica aplicadas, (incluindo as interligações). Estes desligamentos devem ocorrer de forma simultânea e controladas por satélites (protocolo NEMEA).
- Potencial OFF instantâneo: Potencial OFF medido com um curto intervalo após a interrupção, com o objetivo de se aproximar o máximo possível do potencial sem a queda IR.
- Queda IR: Tensão que é produto de todas as correntes que fluem através do circuito de proteção catódica e a resistência do caminho da corrente (principalmente da corrente tubo/solo).
- Potencial sem queda IR: Potencial polarizado (duto-eletrólito) sem o erro de tensão, causado pela queda IR, decorrente da corrente de proteção ou de qualquer outra corrente.
- Polarização: É a mudança do potencial duto-eletrólito (tubo/solo), causada pela aplicação de uma corrente elétrica externa à uma tubulação ou quaisquer outras estruturas metálicas.

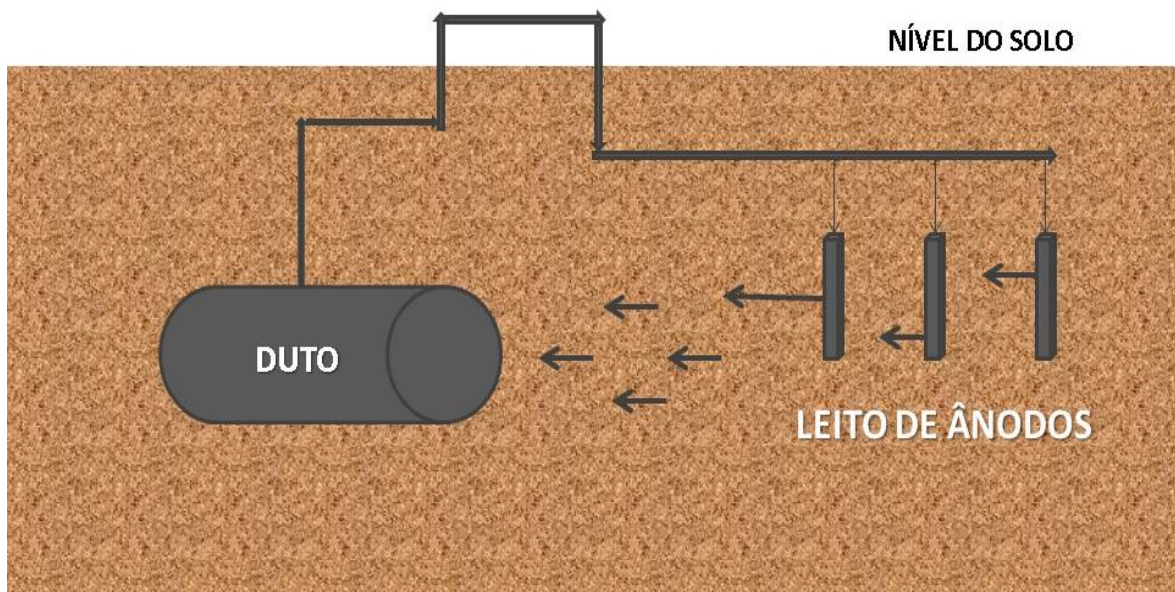
### 3.3.2 Tipos de Proteção

De acordo com Gentil (2011), existem dois tipos de processos onde é possível aplicar proteção catódica, baseados no mesmo princípio de injeção de uma corrente elétrica na estrutura, através do eletrólito.

### 3.3.2.1 Proteção catódica galvânica

Na proteção catódica galvânica, a corrente elétrica é promovida pela força eletromotriz existente entre o metal a proteger e o outro metal escolhido para o anodo, conforme representada na Figura 7.

**Figura 7:** Sistema de Proteção Catódica Galvânica



Fonte: Autor, 2019

Dessa forma, o processo consiste no fluxo de corrente elétrica da diferença de potencial entre o metal a se proteger e o anodo mais negativo, de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1:** Série Galvânica Prática.

MATERIAL	VOLT*
Magnésio comercialmente puro	-1,75
Liga de magnésio (6% Al, 3% Zn, 0,15% Mn)	-1,60
Zinco	-1,10
Liga de alumínio (5% Zn)	-1,05
Alumínio comercialmente puro	-0,80
Aço (limpo)	-0,50 a -0,80
Aço enferrujado	-0,20 a -0,50
Ferro fundido (não grafitizado)	-0,50

Chumbo	-0,50
Aço em concreto	-0,20
Cobre, bronze, latão	-0,20
Ferro fundido com alto teor de silício	-0,20
Aço com carepa de laminação	-0,20
Carbono, grafite, coque	+0,30

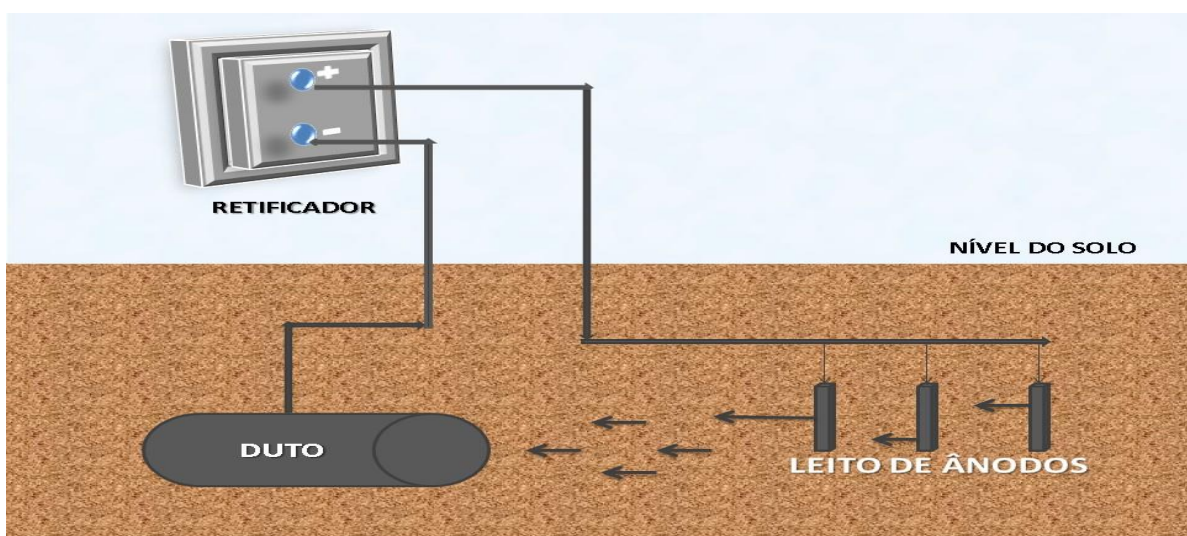
Potenciais típicos normalmente observados em solos neutros e água, medidos em relação ao eletrodo de Cu/ CuSO<sub>4</sub>

Fonte: GENTIL, 2011

### 3.3.2.2 Proteção catódica por corrente impressa

No sistema com corrente impressa, a corrente é promovida por uma fonte geradora de corrente contínua (retificador, bateria ou gerador), utilizando também um conjunto de dispersor de corrente no eletrólito, conhecido como leito de anodos. Esse método se aplica em sistemas que necessitam de correntes altas para proteção e pode ser visualizado na Figura 8.

**Figura 8:** Proteção Catódica por Corrente Impressa



Fonte: Autor, 2019

### 3.3.3 Legislação Aplicada a Proteção Catódica

#### a) Normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas):

I. NBR ISSO 15589-1: Dutos Terrestres – Proteção Catódica para Sistemas de Transporte de Dutos – Parte 1: especifica requisitos e fornece recomendações para os levantamentos realizados antes da instalação, projeto, materiais, equipamentos, fabricação, instalação, pré-operação, operação, inspeção e manutenção de sistemas de proteção catódica para dutos



terrestres, conforme definido na ISO (International Organization for Standardization) 13623, para as indústrias do petróleo e gás natural.

b) Normas PETROBRAS (Petróleo Brasileiro S/A)

I. N-2298: Proteção Catódica de Dutos Terrestres: especifica requisitos adicionais para os levantamentos realizados antes da instalação, projeto, materiais, equipamentos, fabricação, instalação, pré-operação, operação, inspeção e manutenção de sistemas de Proteção Catódica para dutos terrestres.

3.3.4 Instrumentação para Proteção Catódica

Para o desenvolvimento de um sistema confiável é importante monitorar sua eficácia. Um sistema básico de monitoramento dispõe das seguintes vantagens: detecção imediata de perdas nos retificadores; uma base de dados contínua sobre a tensão e corrente nos retificadores; imediata identificação da seção do tubo onde um dano significativo no revestimento ocorreu (ou seja, perda de tensão catódica em uma seção) e identificação de problemas de correntes perdidas (MELLO et.al., 2007). Dessa maneira, os seguintes instrumentos industriais foram listados por Dutra (2011, p. 273):

a) Retificador: fornecem a corrente necessária para promover o equilíbrio de potencial estrutura-eletrólito, impedindo assim a reação de oxidação;

b) Medidores eletrônicos de múltiplas funções (Multímetros digital): fornecem as medições de potencial, corrente e resistência;

c) Medidores de resistência elétrica (Terrômetro ou telurímetro): fornecem a resistividade do solo, possuem conversores que transformam a corrente contínua em corrente alternada com frequência e tensão já determinadas;

d) Registradores: executam o processamento interno para registrar simultaneamente os dados coletados;

e) Interruptores: utilizado para acionar ou desligar automaticamente a fonte de corrente para o sistema de proteção catódica;

f) Eletrodos de referência: dispositivos que determinam o potencial de uma estrutura em relação ao meio, a fim de avaliar a condição do material metálico;

e) Cabos e carretéis: utilizado para informar os potenciais de uma estrutura em relação ao eletrodo de referência.

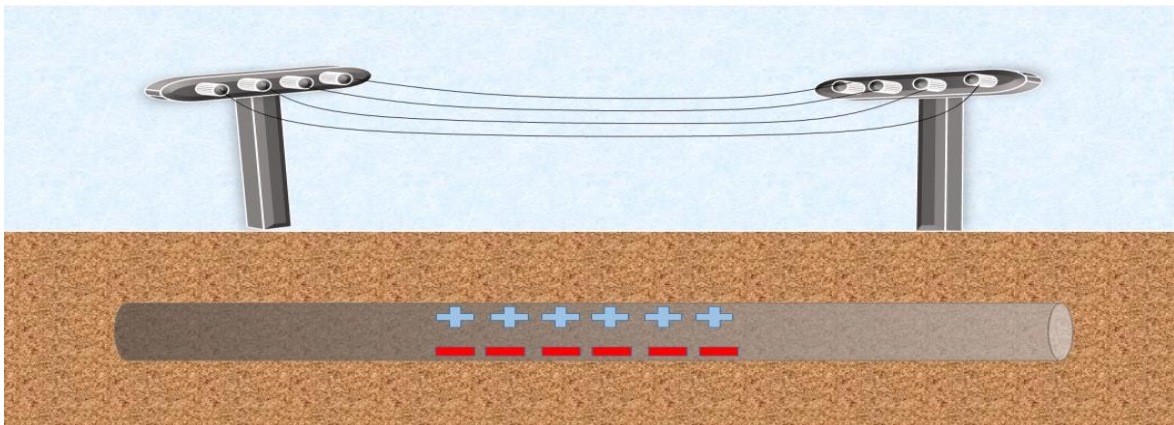
### 3.3.5 Tipos de Interferência nas Tubulações Enterradas

No aspecto das aplicações do método de proteção catódica, as tubulações enterradas são as infraestruturas de maior extensão. No geral, os revestimentos utilizados nas tubulações são de altíssima qualidade e o uso da proteção catódica é atrelado para sanar as minúsculas falhas que possa existir.

As diferentes formas de corrente de interferência se formam pela disposição da estrutura em relação ao sistema causador, onde existirão pontos de captação e pontos de descarga da corrente de fuga. Quando existem duas tubulações enterradas próximas, ou onde ambas se cruzem, ocorre corrosão eletrolítica, que tem como princípio a existência de corrente elétrica estranha ao sistema, que funciona como um anodo ativo e age corrosivamente (GOMES, 2013).

As estruturas enterradas, quando se aproximam de linhas de alta tensão, podem estar sujeitas às correntes de condução ou indução no caso de defeitos na rede ou correntes induzidas permanentes devido à ação do campo elétrico, podendo provocar alteração na proteção anticorrosiva (DUTRA, 2011). A Figura 9 mostra uma linha de alta tensão paralela a uma tubulação enterrada e o efeito indutivo.

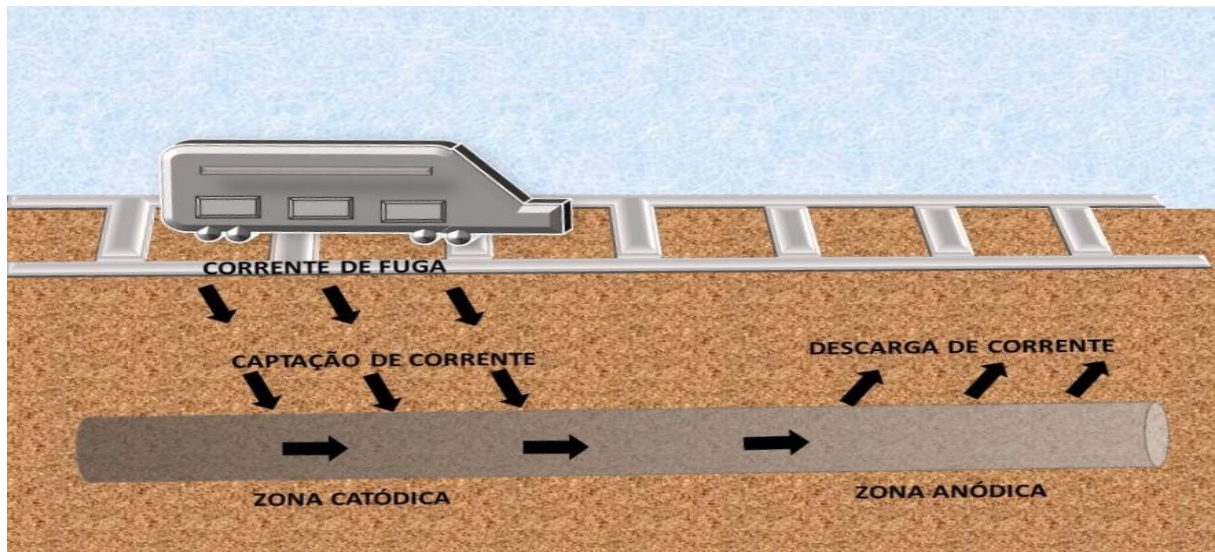
**Figura 9:** Tubulação paralela a uma linha de alta tensão sob efeito indutivo



Fonte: Autor, 2019

Além disso, outra forma de interferência na proteção se dá quando os sistemas de tração eletrificada, utilizados nos trens, metrô e VLTs (veículo leve sobre trilhos) para o transporte de passageiros e de cargas, injetam correntes elétricas perigosas no solo, que se espalham pelo terreno e retornam às suas estações geradoras de origem (GOMES, 2018). Como consequência, as tubulações metálicas enterradas funcionam como condutores elétricos, conforme a Figura 10.

**Figura 10:** Interferência resultante de sistema de tração eletrificada



Fonte: Autor, 2019

Dessa maneira, com base na disposição a estrutura em relação ao sistema causador da corrente de interferência, haverá sempre um ou mais pontos de captação e um ou vários pontos de descarga da corrente de fuga. Os pontos de captação da corrente são áreas catódicas e as áreas de descarga são áreas anódicas, como consequência, surge um processo corrosivo, que deteriora a estrutura metálica nas regiões de descarga de corrente (DUTRA, 2011).

## **4. METODOLOGIA**

O estudo proposto é composto, inicialmente, por uma breve revisão da literatura e adicionalmente, de uma pesquisa documental, de estudos e dissertações já desenvolvidas na área de sistema de proteção catódica. Também foram revisadas as literaturas referentes a normas de segurança, principalmente quanto à verificação de interferências elétricas, visando à segurança operacional e a correção de falhas devido ao processo corrosivo.

Além disso, foi possível desenvolver uma pesquisa exploratória-descritiva, pois se almeja identificar as relações entre as variáveis envolvidas no processo, sendo por meio da observação das atividades e registro dos dados para posterior análise, a fim de se obter resultados que comprovem a interferência nos sistemas analisados (Nicholas, 2015). Para a realização do estudo, foi praticado um estudo de caso do sistema de proteção catódica da rota que inicia a rede de distribuição de gás natural, situada na Estação de Transferência de Custódia na região do Rio Largo – Alagoas. Para tal foi revisado o estudo de interferência elétrica, bem como o estudo de casos similares.

A pesquisa utilizou de documentação de dados com detalhamento, que permitiram a verificação da ação corrosiva devido à comunicação entre os sistemas de proteção catódica nos dutos. A análise dos dados foi aplicada, pois foram analisados os contextos que influenciam o fenômeno de corrosão, bem como, a melhor solução que venha a interceptar a possibilidade de falhas no processo (SAMPPIERRE et. al., 2013). Assim, foram elaboradas as alternativas mitigadoras que permitirão solucionar a interposição e interferência elétrica inerente aos dutos submersos.

### **4.1 Localização do Estudo**

De acordo com Dutra (2011), correntes dispersas podem pegar uma carona em dutos enterrados, dessa maneira, uma estrutura metálica pode captar parte da corrente de um sistema de proteção catódica, gerando uma corrosão eletrolítica. Diante disto, o trabalho tratou de dutos de aço, transportando gás natural, enterrados em solo típico da região do Rio Largo – Alagoas e com paralelismo com outra tubulação.

Para tal, o estudo se apoiou em medições de potencial que indicam as tensões presentes nos afloramentos do gasoduto de distribuição. Estes afloramentos são constituídos basicamente de estações de medição, válvulas de bloqueio e pontos para medição diversos, que são

projetados para realizar a operação da rede de gás e em consequência disso a intervenção de profissionais nestas instalações.

No caso estudado, a ETC – Rio Largo tem sua localização vizinha a estação da Transpetro (Transporte Petrobras), local onde é transferido o gás natural que será distribuído pela concessionária de Alagoas, podendo ser identificado pela Figura 11.

**Figura 11:** Mapa da localização do estudo.

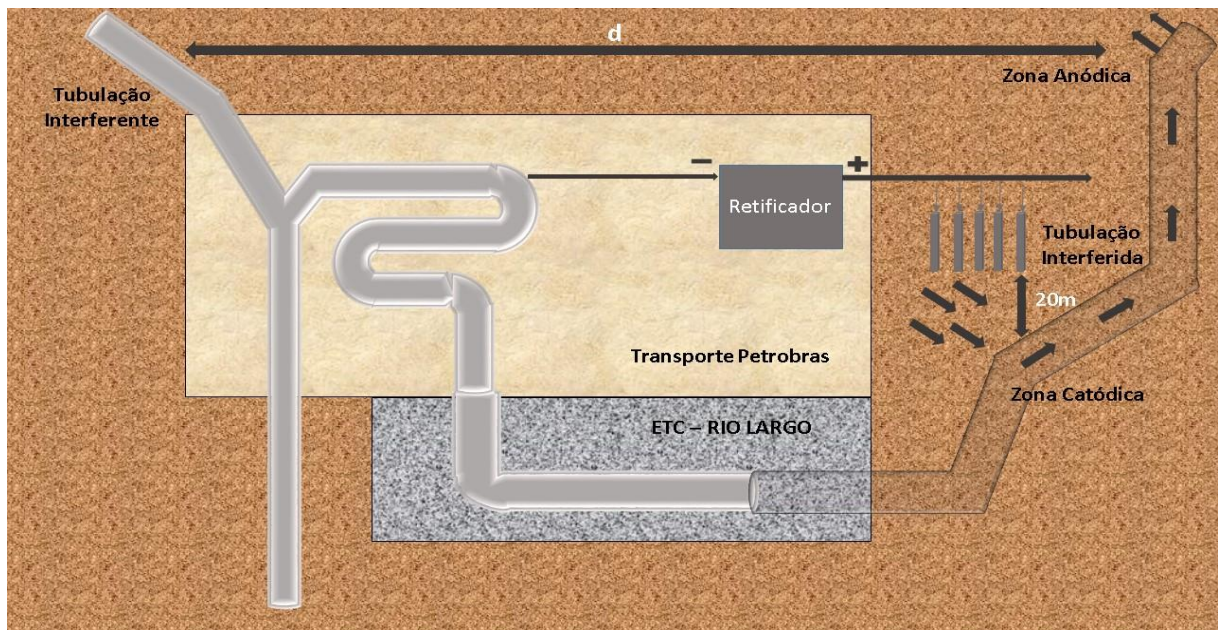


Fonte: Arquivos Algás, 2019

O sistema de proteção da Transpetro é por corrente impressa semelhante ao da Companhia de Gás de Alagoas. O leito de anodos da Transpetro tem uma proximidade de cerca de 20m da tubulação de distribuição de gás. Dessa maneira, existe uma interação entre o sistema da transportadora e da companhia de gás.

A tubulação próxima ao leito de anodos (tubulação interferida) se torna uma zona catódica e a estrutura começa a capturar a corrente. Essa corrente é descarregada num local de maior proximidade com a tubulação interferente, gerando assim, uma zona anódica que pode ser visualizada na Figura 12.

**Figura 12:** Esquema da interação entre o leito de anodos e tubulação.

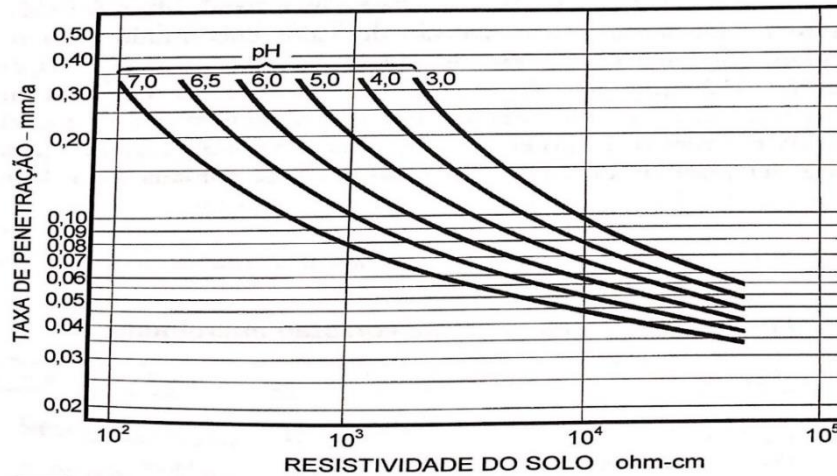


Fonte: Autor, 2019

## 4.2 Avaliação da Agressividade do Solo

No que se refere ao perfil de agressividade do solo, ao implantar um sistema de proteção catódica, se faz necessário o estudo aprofundado do aspecto citado. Diante disso, a companhia de gás desenvolveu medições ao longo do trecho estudado. As medições de resistividade elétrica do solo foram feitas pelo método Wenner (4 pinos), de acordo com a Norma NBR-7117 da ABNT, o método consiste basicamente do cravamento no solo de 4 hastes metálicas alinhadas e dispostas simetricamente em relação ao ponto de medição no solo, espaçadas de uma distância “D” em centímetros, onde essa distância “D” corresponde à profundidade de medição no solo requerida. Logo em seguida, foi posicionado um medidor de resistividade do solo no ponto onde em que se desejava fazer a medição da resistividade elétrica do solo.

Como forma comparativa para determinação da taxa de corrosão do solo através dos dados de resistividade do solo e pH, foi utilizado os dados disponíveis pelo sistema de informação de águas subterrâneas (SIAGAS, 2019). Diante dos dados da localização aproximada do caso em estudo, foi possível obter dados dos poços, mostrando o tipo de solo e as características do mesmo. Dessa maneira, com o valor da resistividade mínima do solo, no local considerado, e do seu pH, foi utilizado o diagrama da Figura 13, para se obter a taxa de corrosão aproximada para o aço.

**Figura 13:** Taxa de corrosão do aço, em função da resistividade mínima e do pH do solo

Fonte: Dutra, 2011

### 4.3 Levantamento de Dados da Estrutura

O levantamento de dados da estrutura foi constituído pela coleta das informações das características físicas da rede de distribuição, fornecida pela concessionária responsável pelo fornecimento do gás natural no estado de Alagoas. Tais conhecimentos possibilitaram a descrição do sistema de proteção catódica para a avaliação referente a pré-operação, sendo possível entender a estrutura do sistema, com seus componentes e atuação. Para fazer uma avaliação mais criteriosa da corrosividade de um eletrólito, é fundamental a utilização do Quadro 1 que determina a resistividade de acordo com o potencial em relação ao eletrodo de Cu/ CuSO<sub>4</sub>.

**Tabela 2** – Corrosividade em função da resistividade e do potencial, para o aço

Potencial em relação ao eletrodo de Cu/ CuSO <sub>4</sub>	Resistividade em ohm.cm		
	De 500 a 1000	De 1000 a 10000	De 10000 a 100000
Até -0,4V	Pouco corrosivo	Muito pouco corrosivo	Não corrosivo
-0,4 a -0,5V	Moderadamente	Pouco corrosivo	Muito pouco corrosivo
-0,5 a 0,6V	Corrosivo	Moderadamente	Pouco corrosivo
Além de -0,6V	Muito corrosivo	Corrosivo	Moderadamente

Fonte: Dutra, 2011

#### 4.4 Pesquisa de Corrente de Interferência

A pesquisa de corrente de interferência consiste na determinação das áreas catódicas e anódicas para determinação da área de captação e descarga. Para tanto, foram utilizados os métodos de medição de potencial, medição de corrente e determinação do ponto de descarga.

Por meio dos pontos de teste, tomadas sobre a estrutura enterrada que possibilita a medição de potencial e determinação de eficiência de revestimento e medição de corrente, foi tomado a medição da corrente que flui na estrutura e observar se a estrutura se encontrava sujeita a correntes de fuga. Para determinação de  $\beta$ , foram feitas medições dos potenciais nos pontos de testes. Os valores obtidos foram lançados e ajustados por uma reta, cujo coeficiente angular foi o valor de  $\beta$  para este ponto. O ponto máximo apresentado na curva, é a região que corresponderá a maior descarga máxima de corrente para o solo (DUTRA, 2011).

#### 4.5 Teste de Desligamento do Retificador

Os trechos de tubulação enterrada são protegidos catodicamente pela injeção de corrente na sua superfície através da utilização de um retificador. Quando o mesmo se encontra desligado, o potencial OFF da tubulação deve estar enquadrado na faixa de -0,85 até -1,25. Esses valores são indicativos de que a tubulação encontrasse protegida.

Dessa maneira, do trecho que se inicia a estação de transferência no Rio Largo, até o Aeroporto (também situado no município de Rio Largo), foram desligados os retificadores que são suprimento as tubulações. Tanto da companhia de gás, quanto da transportadora de petróleo e gás. Ao desligar os retificadores, foram coletados os valores dos potenciais em 4 pontos no decorrer do trecho a fim de determinar o efeito relacionado ao histórico apresentado no relatório de pré-operação do sistema.

#### 4.6 Simulação com Cupom de Corrosão

O potencial tubo/solo é o principal parâmetro para avaliação do atendimento aos critérios da proteção catódica. O cupom de proteção catódica é um dispositivo que permite eliminar ou reduzir consideravelmente a queda de tensão das medições de potencial tubo/solo e então determinar o nível de efetivo de proteção fornecida.

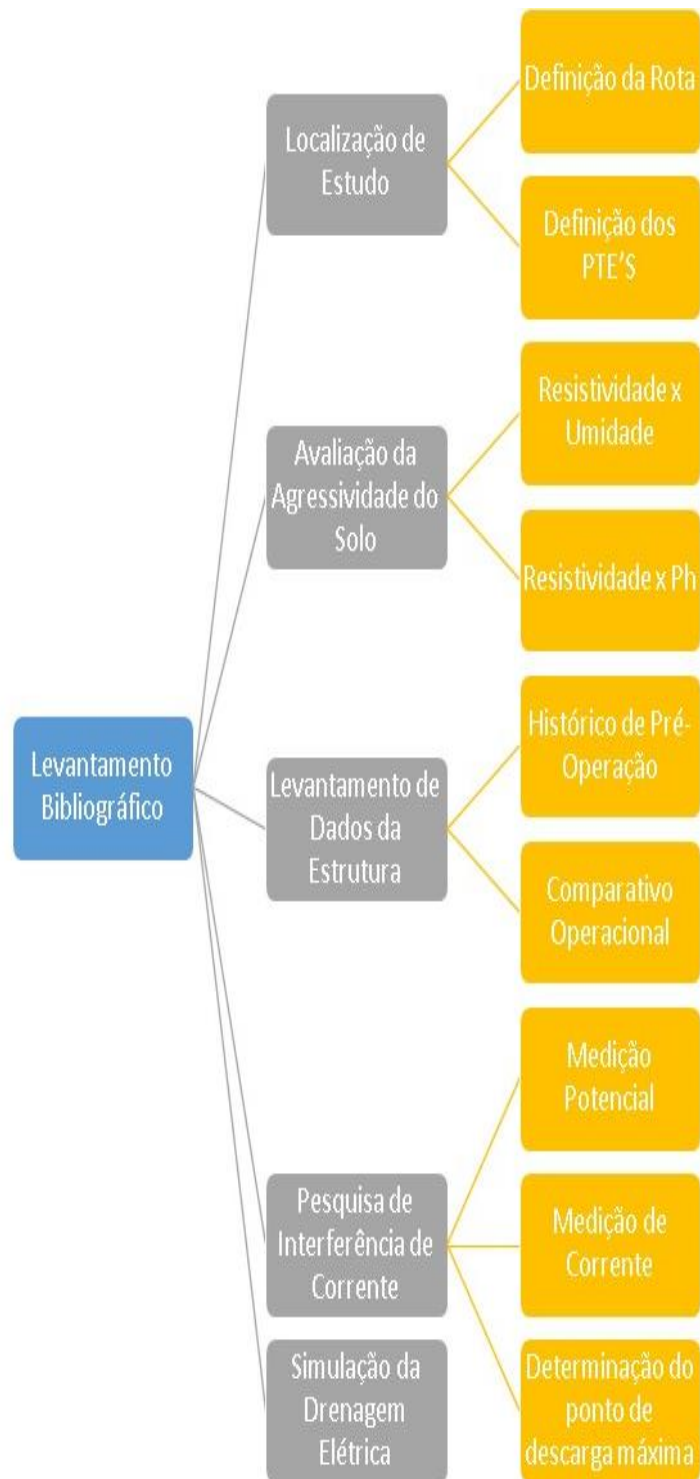
O cupom deve ser instalado no solo ao lado do duto e conectado eletricamente através de um ponto de teste ao sistema de proteção catódica simulando uma porção da parede metálica exposta por um defeito de revestimento de dimensões similares. Para efeito de simulação e



inspeções periódicas, o cupom pode ser desconectado do tudo e seu potencial medido logo após desligamento, sendo essa medição a representação do potencial tubo/solo OFF ou polarização do duto nas proximidades do cupom.

#### **4.7 Fluxograma do Estudo**

De maneira ampla, a metodologia do presente estudo seguiu as etapas demonstradas na Figura 14.

**Figura 14:** Fluxograma das etapas de estudo

Fonte: Autor, 2019

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Definição da Rota do Estudo

A fim de fazer coleta dos dados, foi escolhida uma rota para medição dos potenciais nos PTE's, conforme o Tabela 2.

Tabela 2: Rota do Estudo

ROTA: ETC RIO LARGO - AEROPORTO				
Nº	DESCRIÇÃO DO PTE	TAG	LATITUDE	LONGITUDE
1	ETC RIO LARGO	PTE-000108	8954891	188419
2	ERPM FÁBRICA BAUDDUCCO	PTE-000208	8951676	189938
3	ERPM POSTO MATA DO ROLO	PTE-000308	8951210	190155
4	ERP AEROPORTO	PTE-000508	8947333	191902

Fonte: Arquivos Algás, 2019

O traçado do roteiro escolhido pode ser melhor observado na Figura 15.

Figura 15: Localização dos PTE's



Fonte: Arquivos Algás, 2019

### 5.2 Avaliação da Agressividade do Solo

Conforme visto, para obtenção dos dados da resistividade do solo, a companhia de gás efetuou medidas de resistividade ao longo de toda a extensão dos leitos de anodos para as verificações do Sistema de Proteção Catódica. Nesse momento, os dados apresentados na

Tabela 3 abaixo, relaciona as medições de resistividade do solo encontradas e disponibilizadas pela companhia.

**Tabela 3:** Medição da Resistividade Média do Solo (kohm x cm)

Localização	Potencial em relação ao eletrodo de Cu/CuSO <sub>4</sub>	Profundidades Equivalentes			
		1,5 metros	3,0 metros	4,5 metros	6,0 metros
BR-104 / Rio Largo	-0,625V	52,40	82,56	70,40	69,89
BR-104 / Citec	-0,345V	22,43	23,51	23,02	28,39

Fonte: Arquivos Algás, 2016

De acordo com os valores de resistividade medidos pelo método acima descrito, pode-se classificar os eletrólitos da localização BR-104/ Rio Largo como moderadamente corrosivo e os eletrólitos da localização BR- 104/ Citec como não corrosivo segundo o quadro de corrosividade em função da resistividade do potencial, para o aço (DUTRA, 2011).

Em comparativo com o dado apresentado, foram coletados os dados do SIAGAS. A partir do qual foram obtidos os dados da Tabela 4.

**Tabela 4:** Medição da resistividade, pH e taxa de penetração

Localização	Resistividade (ohm-cm)	pH	Taxa de Penetração (mm/a)
Aeroporto Zumbi dos Palmares	$9,8 \cdot 10^5$	7,42	0,04
BR 101, Km 75	$2,07 \cdot 10^4$	7,45	0,055
Posto Mata do Rolo	$1,29 \cdot 10^4$	6,39	0,05

Fonte: Autor, 2020

Diante disso, a taxa de corrosão em relação ao solo do local, tem uma variação muito pequena, em torno de 0,05 milímetros por ano, sugerindo assim taxa de corrosão é baixa.

### 5.3 Levantamento de Dados da Estrutura

O Sistema de Proteção Catódica instalado nesse trecho é do tipo corrente impressa e consiste basicamente dos seguintes equipamentos e componentes: dois retificadores bifásicos, tipo manual, com retificação em onda completa por coluna retificadora de diodo de silício, com proteção por circuito RC (resistor-capacitor) em paralelo, refrigeração natural por convecção, com alimentação em 110/220 Vac, bifásicos, frequência de 60 Hz, instalados em poste e abrigo

de alvenaria, e demais dados mostrados na Tabela 5.

**Tabela 5:** Especificações do Sistema de Proteção Catódica no Trecho

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIÇÃO DO RETIFICADOR RTF-01</b>	<b>DESCRIÇÃO DO RETIFICADOR RTF-02</b>
<b>LOCAL DA INSTALAÇÃO</b>	BR-104 / Rio Largo (ao lado da Clodax)	BR-104 / (ao lado da Citec)
<b>ALIMENTAÇÃO</b>	<b>220V – 2 Fases – 60Hz</b>	<b>220V – 2 Fases – 60Hz</b>
<b>TENSÃO DE SAIDA</b>	<b>50 Vcc</b>	<b>50 Vcc</b>
<b>CORRENTE DE SAIDA</b>	<b>20 Acc</b>	<b>30 Acc</b>
<b>POTÊNCIA</b>	<b>1,0 kVA</b>	<b>1,5 kVA</b>
<b>TIPO</b>	Bifásico – manual	Bifásico – manual
<b>REFRIGERAÇÃO</b>	Natural	Natural
<b>RETIFICAÇÃO</b>	Coluna retificadora de onda completa com diodos de silício	Coluna retificadora de onda completa com diodos de silício

Fonte: Arquivos Algás, 2016

Com base nos dados acima, os retificadores se encontram na padronização dos retificadores que é de 50Vcc – 30Acc e alimentação monofásica de 110V ou 220V, para instalações terrestres situadas em eletrólitos de média para alta resistividade, principalmente quando a estrutura é determinada por trechos longos como a linha da tubulação.

Ao que se refere aos leitos com anodos tubulares de Titânio, revestidos com uma mistura de óxido de metais nobres (MMO), com encamisamento de tubo de aço, preenchido com coque calcinado de petróleo, conectado a um cabo elétrico (Circuito anel) com isolamento e demais dados mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Descrição das Especificações dos Leitões de Anodos

<b>ITEM</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>TIPO DE ANODO</b>	Lida Tubular / ST- <b>2,5 X 100</b> XL = 25 mm x 1000 mm
<b>FABRICANTE</b>	Metais Sales
<b>MATERIAL DO ANODO</b>	Titânio revestido com mistura de oxido de metais nobres
<b>QUANT. ANODOS / STRINGS</b>	15 ou 27 anodos de 1” x 1 metro, com espaçamento de 6 metros
<b>PROF. DO POÇO</b>	3 Metros
<b>VIDA UTIL</b>	> 30 anos
<b>TUBO CAMISA</b>	Ø 6 “ ou 150 mm
<b>CABO DE INTERLIGAÇÃO</b>	Cabo duplo isolamento HEPR, classe 1 kV, # 16mm <sup>2</sup>
<b>TIPO DE ENCHIMENTO</b>	Coque calcinado de petróleo
	Carbono Fixo = 98,00 % (Min.)
	Cinzas = 1,0 % (Max.)
	Materiais Voláteis = 1,0 %
	Umidade = 1,0 % (Max.)
	Enxofre = 1,0 % (Max.)
	Granulometria (mm) = 0,05 a 2
	Granulometria (mm) = 0,05 a 2

Fonte: Arquivos Algás, 2016

Deve-se ressaltar que os anodos de titânio revestido com óxidos de metais nobres apresentam uma ampla faixa de densidade de corrente (A/m<sup>2</sup>) e um desgaste considerado desprezível (kg/A.ano).

## 5.4 Pesquisa de Corrente de Interferência

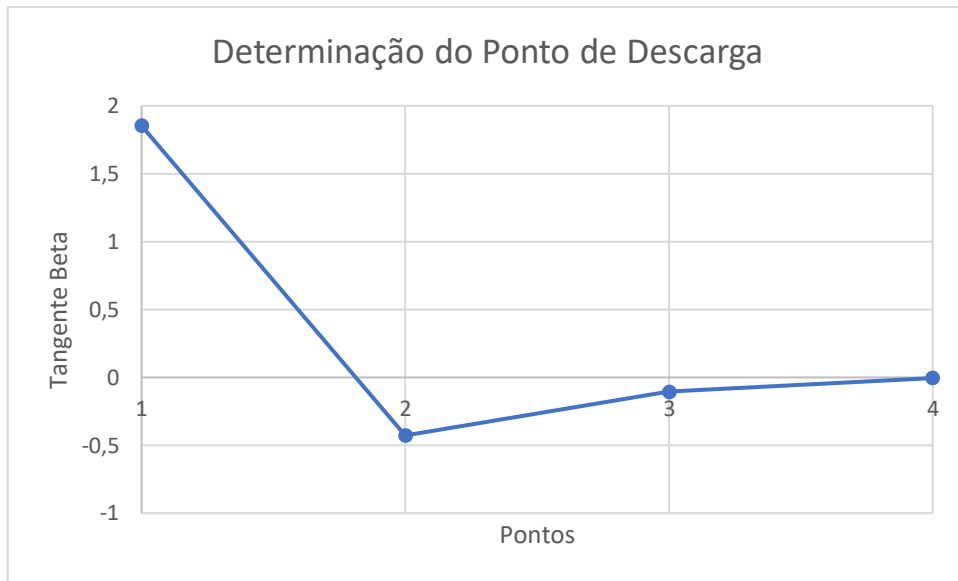
Para determinar os possíveis pontos de interferência, foram coletados os dados apresentado na Tabela 7. O PTE lado estação representa a interação entre a estrutura e o solo (V1), enquanto que o PTE lado linha é a demonstração da interação entre o duto e o solo (V2).

**Tabela 7:** Dados dos potenciais nos trechos

<b>ESTAÇÕES</b>	<b>PTE LADO DA LINHA (V2)</b>	<b>PTE LADO DA ESTAÇÃO (V1)</b>
<b>Ponto 1 - ETC RIO LARGO</b>	-3,01	-2,27
<b>Ponto 1 - ETC RIO LARGO</b>	-3,019	-2,27
<b>Ponto 1 - ETC RIO LARGO</b>	-2,99	-2,22
<b>Ponto 2 - PTE ERP AEROPORTO</b>	-3,449	-0,34
<b>Ponto 2 - PTE ERP AEROPORTO</b>	-3,445	-0,345
<b>Ponto 2 - PTE ERP AEROPORTO</b>	-2,702	-0,661
<b>Ponto 3 - PTE ERPM BAUDUCCO</b>	-3,017	-0,462
<b>Ponto 3 - PTE ERPM BAUDUCCO</b>	-3,015	-0,466
<b>Ponto 3 - PTE ERPM BAUDUCCO</b>	-3,012	-0,463
<b>Ponto 4 - PTE ERPM POSTO MATA DO ROLO</b>	-3,215	-0,474
<b>Ponto 4 - PTE ERPM POSTO MATA DO ROLO</b>	-3,201	-0,477
<b>Ponto 4 - PTE ERPM POSTO MATA DO ROLO</b>	-2,802	-0,477

Fonte: Autor, 2019

Uma forma de identificar o ponto de descarga máxima, onde se tem a maior saída de corrente, foi através da determinação da curva  $\beta$ . A partir dos dados de cada ponto, foi possível determinar a equação da reta, onde o coeficiente da mesmas é o  $\beta$ . Após isso, os valores de  $\beta$  foram lançados e os resultados foram obtidos conforme a Figura 15, onde foi possível observar o ponto máximo, região que corresponde à descarga máxima de corrente para o solo.

**Figura 15:** Determinação do Ponto de Descarga

Fonte: Autor, 2019

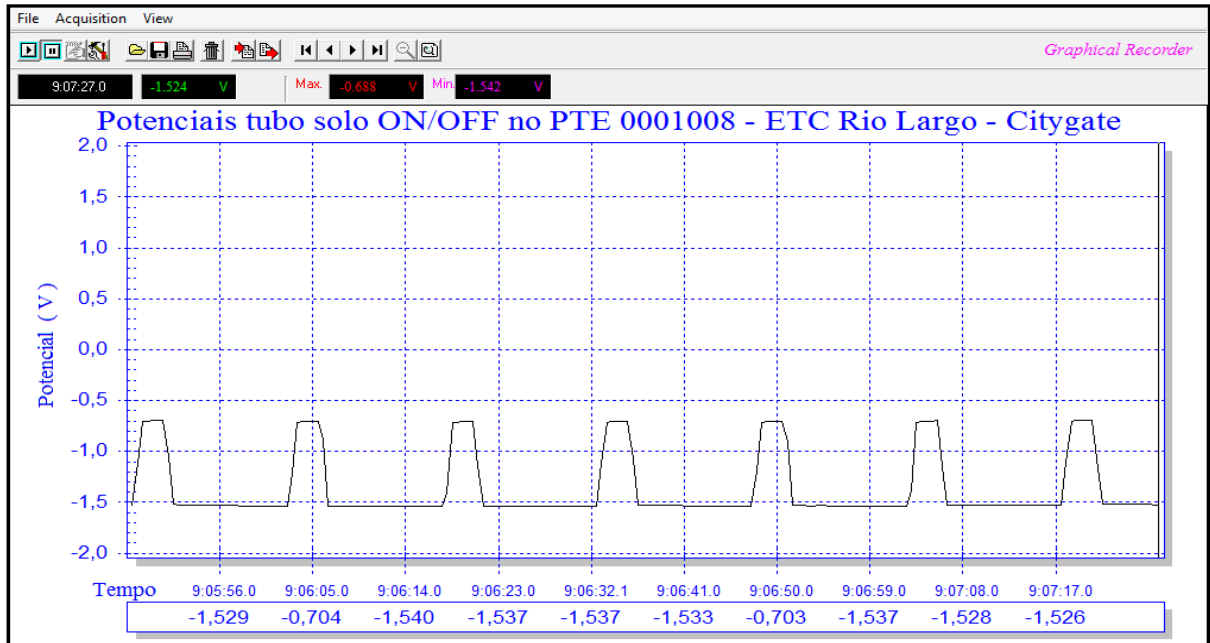
A pesquisa de corrente de interferência determina as áreas com maior frequência, em uma estrutura, sujeita aos efeitos anódicos. Dessa maneira, é fácil definir que o ponto 1 referente a ETC Rio Largo, apresenta a máxima saída de corrente, provando que existe corrente de interferência no local.

### 5.5 Teste de Desligamento do Retificador

Historicamente, conforme o relatório de pré-operação disponibilizado pela companhia, pode-se observar na Figura 16 o gráfico que demonstram os potenciais ON/OFF do trecho ETC Rio Largo. Nesse momento, o trecho do tubo observado apresentou os seguintes resultados: Potencial Tubo/Solo ON = - 1,540 V - Potencial Tubo/Solo OFF = - 0,704 V.



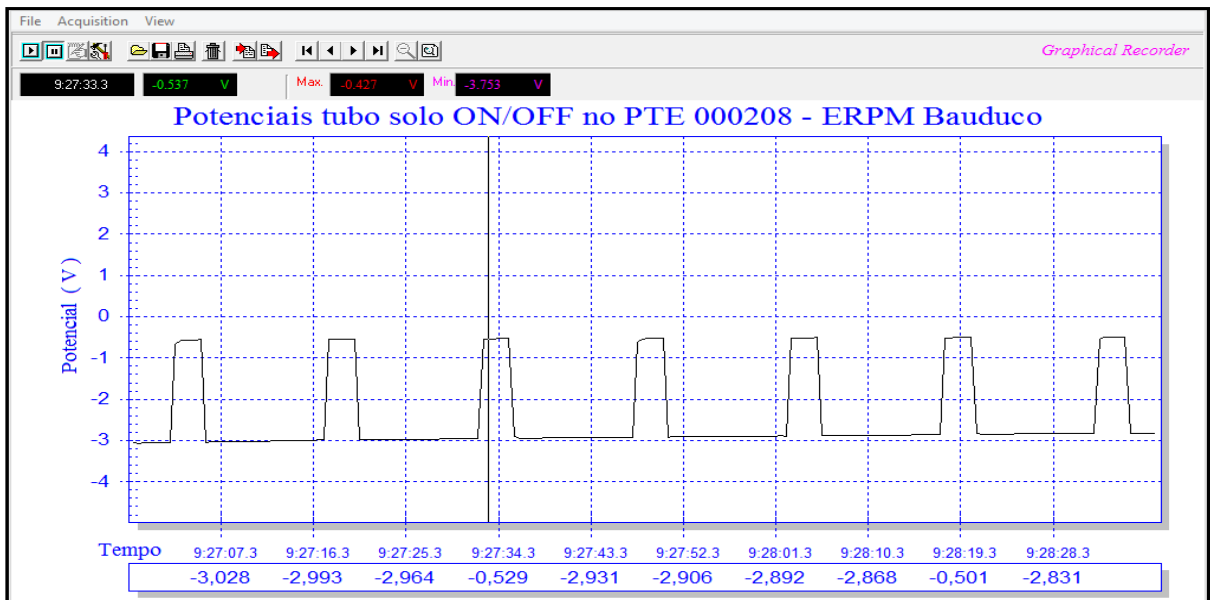
**Figura 16:** Gráfico dos potenciais tubo solo ON/OFF – ETC Rio Largo



Fonte: Arquivos Algás, 2016

Ainda foi possível obter os gráficos do trecho do PTE ERPM Bauducco, onde foi visto que Potencial Tubo/Solo ON = - 3,280 V - Potencial Tubo/Solo OFF = - 0,537 V, sendo observado na Figura 17 abaixo.

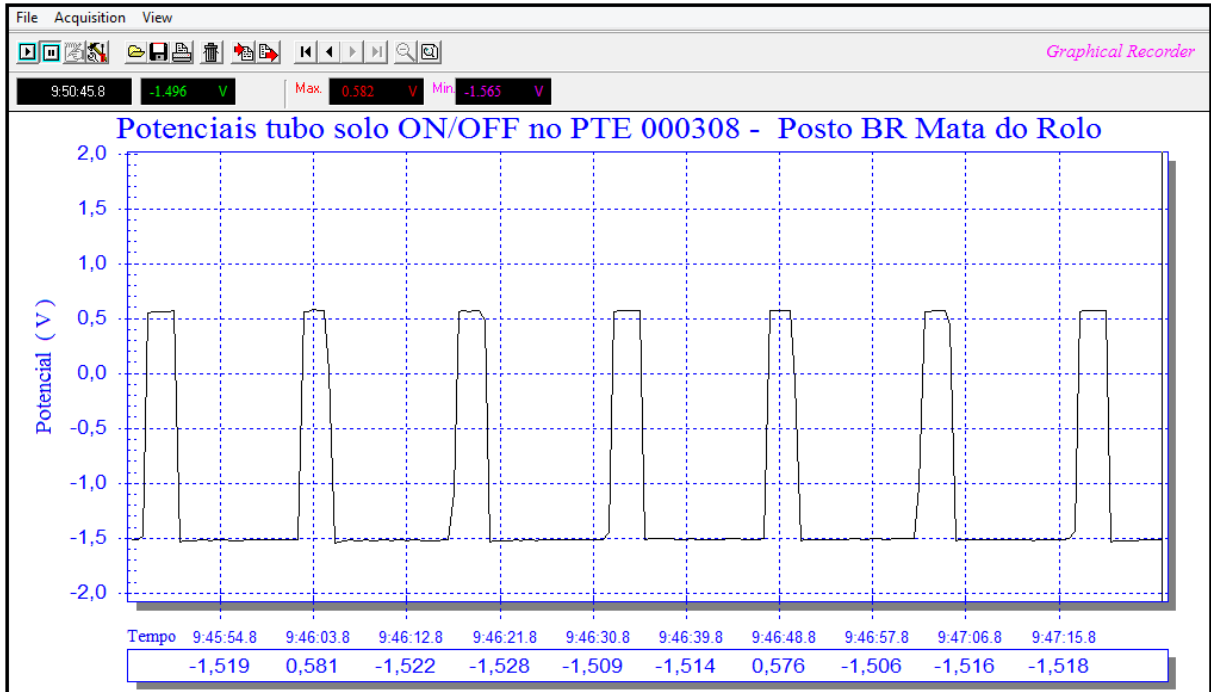
**Figura 17:** Gráfico potenciais tubo solo ON/OFF – ERPM Bauducco.



Fonte: Arquivos Algás, 2016

Para o próximo ponto estudado, o PTE ERPM Posto Mata do Rolo, foi identificado a Figura 18, com os resultados: Potencial Tubo/Solo ON = - 1,528 V - Potencial Tubo/Solo OFF = +0,576 V.

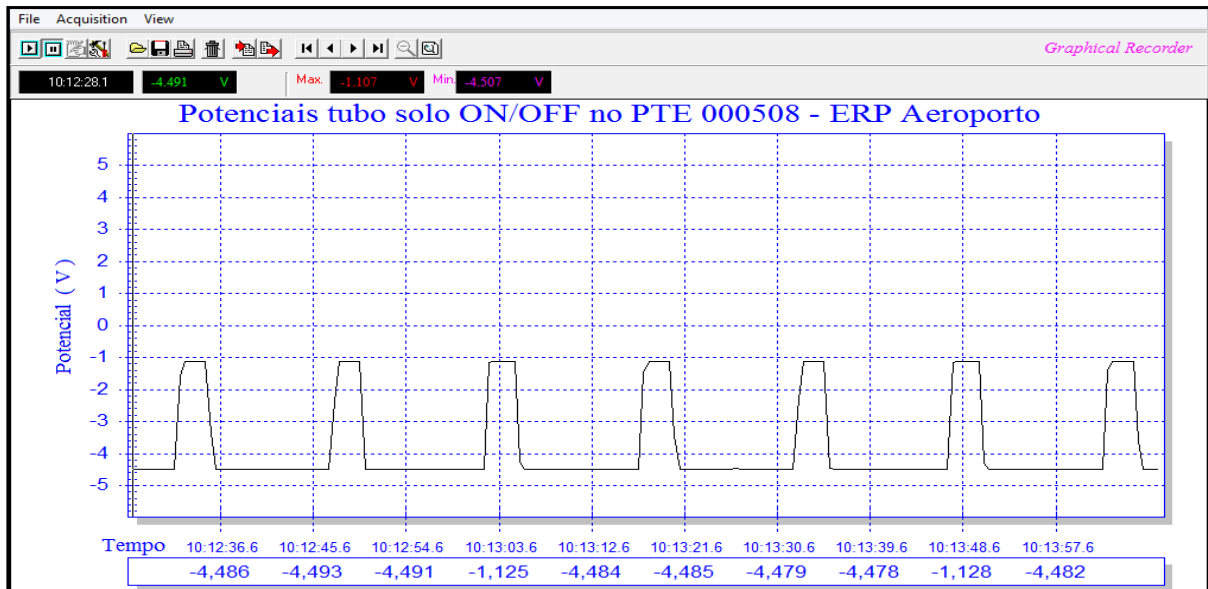
**Figura 18:** Gráfico dos potenciais tubo solo ON/OFF – PTE ERPM Posto Mata do Rolo



Fonte: Arquivos Algás, 2016

Por fim, o último ponto dos pontos escolhidos, foi o trecho da ERP Aeroporto, onde a Figura 19 demonstra que: Potencial Tubo/Solo ON = - 4,493 V - Potencial Tubo/Solo OFF = - 1,125 V.

**Figura 19:** Gráfico de potenciais ON/OFF – ERP Aeroporto



Fonte: Arquivos Algás, 2016

Diante do histórico de instalação do sistema de proteção catódica do trecho escolhido, foi possível fazer um teste de desligamento dos retificadores. É importante iniciar o teste na ERP Aeroporto, pois neste ponto existe uma interligação com cabos, que protege catodicamente

as tubulações da companhia. Ao fazer o desligamento do cabo que direciona a proteção para Maceió, o potencial indicou instantaneamente  $-4,75\text{V}$ . Após alguns minutos, com o auxílio do sistema supervisorio, foi possível encontrar um potencial de  $-4,86\text{V}$ . Antes do desligamento do cabo, o potencial encontrado foi de  $-3,07\text{V}$ , sendo esse o potencial tubo/solo ON. Em seguida, foi desligado o retificador e o potencial tubo/solo OFF encontrado foi de  $-1,58\text{V}$ .

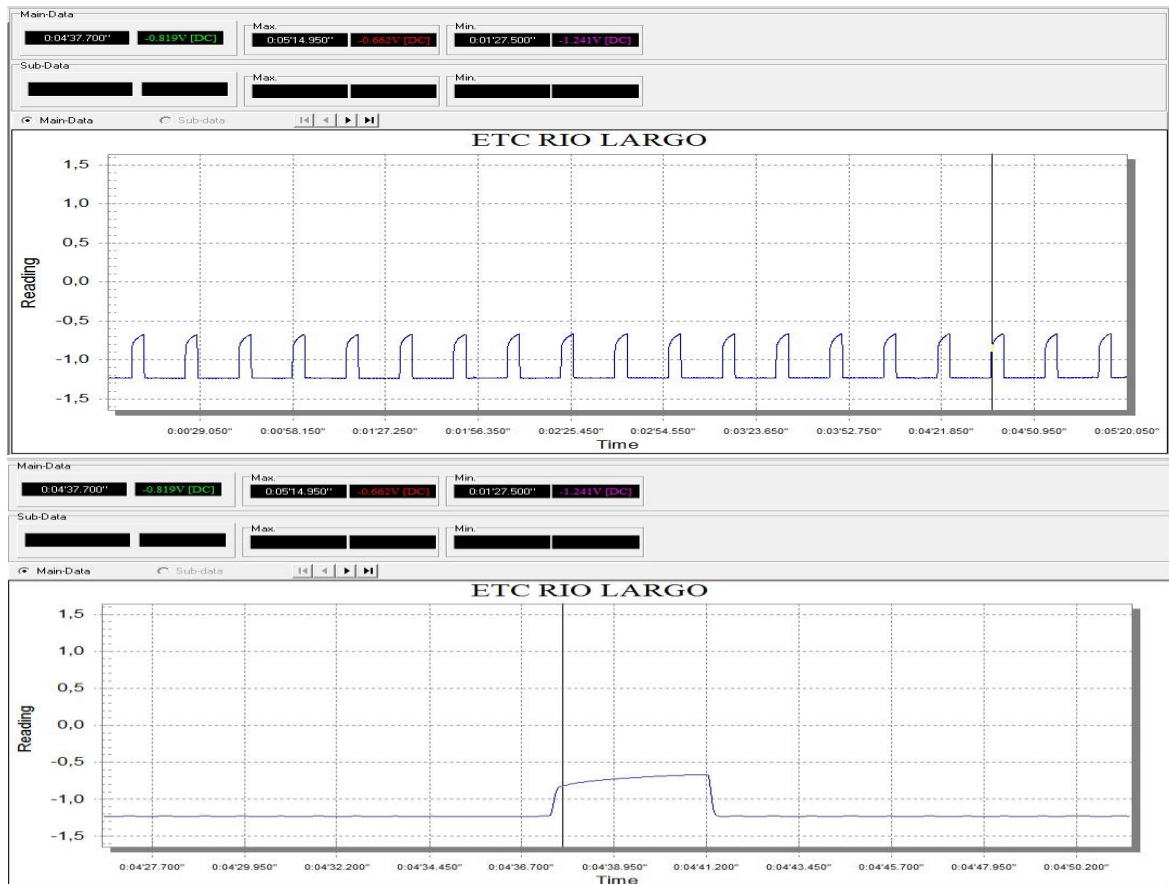
Após observar o potencial na ERP Aeroporto, foi possível se direcionar para a Estação de Transferência de Custódia no Rio Largo. Já com o retificador da companhia desligado, foi encontrado o potencial  $-0,625\text{V}$ . No outro ponto escolhido, a ERPM Bauducco, foi possível observar um potencial de  $-1,83\text{V}$ .

Pelas indicações encontradas, na ETC Rio Largo, o potencial encontrado se torna um indicativo de que a tubulação, quando desligado os retificadores, se encontram suscetíveis ao processo corrosivo, uma vez que o mesmo se encontra abaixo da sua faixa de proteção. Além disso, nos demais pontos, como na ERP Aeroporto e na EPRM Bauducco, sendo desligado o retificador, o potencial encontrado estava mais alto que sua zona de atuação.

## **5.6 Simulação com Cupom de Corrosão**

Com a instalação dos cupons de corrosão, foi possível observar os registros gráficos do potencial tubo/solo ON/OFF por meio de um ciclador eletrônico instalado no PTE, operando num ciclo de 15 segundos, sendo 12 segundos ligadas e 3 segundos desligadas, obtendo o gráfico representado na Figura 20.

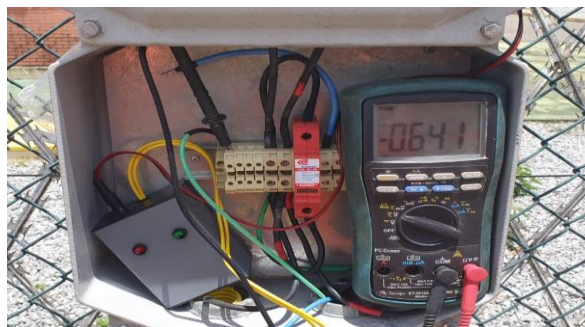
**Figura 20:** Gráficos dos Potenciais ON/OFF – ETC Rio Largo



Fonte: Arquivos Algás, 2019

Diante dos dados da Figura 16, foi disponibilizado que o Potencial Tubo/Solo ON = -1,241 V - Potencial Tubo/Solo OFF = -0,819 V. Além disso, o potencial encontrado com a instalação do cupom de corrosão foi o da Figura 21.

**Figura 21:** Medição do Potencial Tubo/Solo do cupom



Fonte: Arquivos Algás, 2019

Conforme os dados encontrados para a ETC Rio Largo, o ponto encontra-se com Potencial Tubo/Solo OFF não foi satisfatório uma vez que não alcançou o valor de -0,85 V.

## 5.7 Sugestão de Melhorias

De acordo com os dados encontrados, tanto a pesquisa quanto o combate às correntes de interferência, são problemas de difícil solução. Em virtude disso, o combate à corrente de interferência inerente à proteção catódica para correntes provenientes de sistemas de proteção catódica:

- Balanceamento dos sistemas, compensando por meio da conexão adequada, o potencial da estrutura que sofre a interferência no ponto de descarga de corrente.
- Utilização de drenagem para o solo, por meio de sistemas de aterramento, incluindo anodos galvânicos, os quais terão como objetivo oferecer uma polarização catódica da região que é necessária a proteção.
- Utilização de uma blindagem elétrica nas áreas de captação de corrente, sendo instalados segmentos de tubos de aço, gerando uma zona de influência do leito de anodos.

## 6. CONCLUSÃO

Conforme o trecho escolhido e estudado, foi observado que de acordo com a resistividade do solo e o pH a taxa de corrosão do solo é baixa. No entanto, por se tratar de tubulação que passará, provavelmente, muitos anos enterrada, se faz necessário um sistema de proteção que atue efetivamente na sua preservação.

Além disso, ao ser efetuado o teste para determinação do ponto de descarga do trecho, foi observado que o trecho que tinha maior ponto de maior descarga de corrente do tubo para o solo, indicativo de fuga de corrente, foi na Estação de Transferência de Custódia do Rio Largo. Local este, onde fica também localizada a empresa de Transporte Petrobrás, indicando a comunicação entre os sistemas de proteção catódica das companhias.

Num sistema de proteção catódica que utiliza o retificador para injeção de corrente contínua na tubulação, ao ser desligado, o Potencial Tubo/Solo OFF deve apresentar um valor maior que  $-0,85V$ . Como foi possível identificar com a aplicação do cupom de corrosão, o valor encontrado foi de  $-0,819V$ . Mostrando assim, que o sistema da companhia de gás natural não se encontra devidamente protegido.

É importante ainda ressaltar que a faixa que indica corrosão, em teoria, deve estar enquadrada entre  $-0,85V$  até  $-1,2V$ . Foi observado ainda que ao fazer verificação do potencial do cupom de corrosão, o mesmo apresentava  $-0,641$ . Tais resultados permitem admitir que o sistema se encontra com falha em sua atuação. Diante disso, se faz necessária o reparo do sistema, além de ser adotadas práticas de inspeção para o monitoramento constante do sistema, a fim de combater à corrente de interferência que pode estar influenciando no sistema.

## REFERÊNCIAS

Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro: ANP, 2018.

Arquivos Companhia de Distribuição de Gás de Alagoas – ALGÁS, 2016.

Arquivos Companhia de Distribuição de Gás de Alagoas – ALGÁS, 2019.

BUNARI, F.G.; Uso racional e econômico da energia dentro de uma indústria de metalúrgica: oportunidade de troca de eletricidade para gás natural. Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, São Paulo, 2009.

CASTRO, A. A. de. Avaliação de propriedades em altas temperaturas de pelotas para alto-forno. 2006. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

Confederação Nacional da Indústria. Gás natural: uma alternativa para uma indústria mais competitiva. – Brasília : CNI, p.17, 2014

DUTRA, C. D. Proteção Catódica: Técnica de Combate a Corrosão, 6ed, Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] Balanço Energético Nacional (BEN) 2016: Ano base 2015, 2016. Disponível em < <https://ben.epe.gov.br> >. Acesso em mar/2019

GALVÃO, M.M.; Efeito do potencial de proteção catódica na corrosão microbiologicamente induzida. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

GENTIL, V. Corrosão 6ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 2011

GOMES, P.L. SISTEMA DE PROTEÇÃO CATÓDICA. IEC Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda, 2018.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ano base 2017, 2018. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/> >. Acesso em abr/2018

IEA: International Energy Agency. Ano base 2016. Disponível em < <https://www.iea.org/> >. Acesso em abr/2018

KOEBSCH, A.; LEMUCHI, L.A.; RAMOS, O.S.R.; Mantas Termocontráteis De Alta Resistência Mecânica Para Tubulações Enterradas Ou Submersas – COTEQ 244, 2011.

- LADEIRA, A. C. Q; PANIAGO, E. B.; DUARTE, H. A. D.; CALDEIRA, C. L.;  
Especificação Química e sua Importância nos Processos de Extração. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, nº 8, p 18 – 23, 2014.
- LEMUCHI, L.A.; GUDME, C.C; Novas tecnologias para revestimento de juntas de campo de tubulações enterradas ou submersas. Eventos, ABRACO, ITP, São Paulo, 2011.
- MELLO, A. J. T. S.; LÜDERS, R.; NEVES JUNIOR, F . Uma rede de sensores para monitoração da proteção catódica em dutos. In: 4. Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás, 2007, Campinas. Anais do 4. PDPETRO, 2007. v. 1. p. 1-6.
- NICHOLAS, W.. Métodos de pesquisa. – São Paulo: Ed. Saraiva, 2015.
- PIRES, A. M., LANFREDI, S., PALMIERI, M. C. Energia elétrica e reações químicas. Rede São Paulo de Formação Docente, São Paulo, módulo 4, disciplina 7, 2011.
- Relatório de atividades. Gerência de Regulação de Gás Natural. Agência Regulatória de Serviços Públicos do Estado de Alagoas: ARSAL, 2018.
- Revista Química e Derivados. Melhor Proteção Catódica e Revestimentos Controlam Ação Corrosiva de Dutos, p 11-22, 2011.
- RIBEIRO, D. V.; LABRINCHA, J. A.; MORELLI, M. R. Effect of the addition of red mud on the corrosion parameters of reinforced concrete. Cement and Concrete Research, v. 42, 2012; p.124-133.
- SAMPIERE, R. H. et al. Metodologia de pesquisa [recurso eletrônico] - 5.ed. – Dados eletrônicos. Porto Alegre: Ed. Penso, 2013.
- SILVA, N.S.; Estudo da corrosão no solo de aço para dutos protegidos catodicamente. Escola de Engenharia, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- SIAGAS: Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. Ano base 2017, 2018. Disponível em< <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em nov/2019.
- TEIXEIRA, B.P.J. GÁS NATURAL: O energético mais competitivo / João Pedro Braga Teixeira - Rio de Janeiro: PoD, 2015.
- TELLES, P.C.S. Materiais para Equipamentos de Processo. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012.



VAZ, C. E. M; MAIA, J. L. P SANTOS, W. G. D. Tecnologia da indústria do gás natural. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Blucher, p. 84, 2008.