

---

*Copyright 2018, ABRACO*

*Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.*

*As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).*

## **Monitoramento Remoto de Retificadores de Proteção Catódica** Magno C. da Silva<sup>a</sup>

### ***Abstract***

---

Monitoring the operation of rectifiers in a cathodic protection system is critical to the management of protection. Usually this monitoring is done through periodic field inspections and monitoring of meters. Many systems have been developed to allow remote monitoring of rectifiers, but great difficulties are encountered when it comes to communication between rectifiers and the supervisory center, especially in large installations such as ore transport ducts, oil, gas and water. As an alternative to the usual remote monitoring systems, such as those using radio signals or General Packet Radio Service (GPRS), a system has been developed in a mining company that makes it possible to infer the state of operation of the rectifiers indirectly. This inference is possible by remote monitoring of potential protection measurement points installed in existing Pressure and Slack Monitoring Points (PMS) along the bonding range of the company's pipelines.

**Keywords:** remote monitoring, rectifiers, cathodic protection

### **Resumo**

---

O monitoramento do funcionamento de retificadores de um sistema de proteção catódica é fundamental para o gerenciamento da proteção. Usualmente esse monitoramento é feito através de inspeções de campo periódicas e acompanhamento de horímetros. Muitos sistemas têm sido desenvolvidos com o intuito de possibilitar o monitoramento remoto de retificadores, porém grandes dificuldades são encontradas quando o assunto é a comunicação entre os retificadores e a central de supervisão, principalmente em instalações de grandes extensões como dutos de transporte de minério, óleo, gás e água. Como alternativa aos sistemas de monitoramento remoto usuais, como os que utilizam comunicação via sinais de rádio ou do tipo General Packet Radio Service (GPRS), foi desenvolvido numa empresa de mineração um sistema que possibilita inferir o estado de funcionamento dos retificadores de maneira indireta. Essa inferência é possível por meio do monitoramento remoto de pontos de medição de potencial de proteção instalados nos Pontos de Monitoramento de Pressão e Slack (PMS) existentes ao longo da faixa de servidão dos minerodutos da empresa.

**Palavras-chave:** monitoramento remoto, retificadores, proteção catódica.

---

<sup>a</sup> Técnico de Manutenção, Graduado em Engenharia de Controle e Automação (UFOP) – Samarco Mineração S.A.

## **Introdução**

---

O controle da disponibilidade dos retificadores de proteção catódica possibilita uma gestão mais aprimorada de todo o sistema de proteção. Geralmente esse controle é feito com base em inspeções de campo periódicas e acompanhamento de horímetros dos retificadores. Esses métodos podem ser muito ineficazes em determinadas situações.

Caso ocorra um problema que deixe o retificador inoperante no dia seguinte à uma inspeção, por exemplo, esse problema só será detectado na próxima inspeção. Nesse caso a proteção ficará deficiente por um período tão extenso quanto à periodicidade das inspeções. Esse método, além de possuir um custo relativamente alto, devido a deslocamentos por grandes distâncias, principalmente no caso de dutos, expõe os técnicos a condições de risco de acidentes durante os deslocamentos que muitas vezes ocorrem em locais remotos.

O controle da disponibilidade por horímetro está condicionado às inspeções de campo e caso o acionamento do horímetro, geralmente composto por switches eletromecânicos, não atue de forma correta, esse controle estará comprometido. Outra situação em que o sistema é falho ocorre quando os cabos de saída do retificador são rompidos e a estrutura fica sem proteção. Nessa situação os switches não são acionados e o horímetro continua energizado.

Diante do que foi exposto, é possível afirmar que os sistemas de monitoramento remoto visam eliminar os problemas dos métodos de inspeção de campo. Eles permitem o acompanhamento em tempo real do estado de funcionamento dos retificadores, possibilitando que ações corretivas sejam realizadas logo após a ocorrência de uma falha. Esses sistemas utilizam sinais de rádio convencionais ou de telefonia, GPRS, para transmitir os dados dos retificadores para as centrais de processamento. Devido à dificuldade de cobertura desses sinais em muitas regiões e ao fato de muitos retificadores não possuírem preparação para os transdutores de sinais necessários para o monitoramento, a instalação desses sistemas nem sempre é viável.

Como alternativa ao sistema mencionado anteriormente, nesse documento será tratado a respeito de um método, aplicado no conjunto de minerodutos de uma empresa de mineração, que permite o monitoramento remoto dos retificadores a partir de pontos de medição de potencial instalados no interior dos PMS's do complexo.

## **Metodologia**

---

Instalações de grandes porte, como dutos enterrados, utilizam o sistema de proteção catódica do tipo corrente impressa. Nesse sistema a diferença de potencial necessária para garantir a proteção é fornecida por uma fonte de corrente contínua, no caso um retificador. O retificador é o principal componente do sistema, enquanto ele estiver funcionando a estrutura estará protegida (1). Na figura 1 pode-se observar um retificador montado em caixa e instalado em abrigo. Pode-se observar também alguns de seus componentes como indicadores, fusíveis, disjuntor e protetores.



Figura 1 – Retificador de proteção catódica por corrente impressa

O terminal negativo da saída do retificador é conectado à estrutura e o terminal positivo é conectado ao leito de anodos, conforme figura 2. Dessa maneira o potencial da estrutura fica negativo em relação ao solo protegendo-a do processo de corrosão.

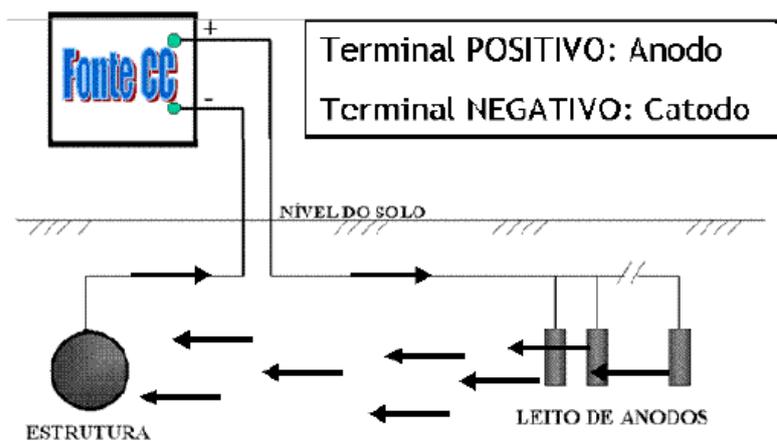


Figura 2 – Ligação de retificador, leito de anodos e estrutura

A empresa na qual esse modo de monitoramento foi implantado mantém unidades industriais em dois estados brasileiros, com operações realizadas de forma integradas e simultâneas. As duas unidades industriais são interligadas por minerodutos, como o da figura 3, com aproximadamente 400 Km de extensão cada, que transportam a polpa de minério de ferro entre os dois estados passando por 25 municípios (2).



**Figura 3 – Mineroduto**

Os minerodutos da empresa possuem um sistema de proteção catódica por corrente impressa composto por 22 retificadores. Ao longo dos minerodutos existem 12 abrigos de alvenaria com aproximadamente 16 m<sup>2</sup> contendo todo um sistema de instrumentação, elétrica e automação para permitir o monitoramento remoto da pressão dos dutos nesses pontos. Esses abrigos são denominados Ponto de Monitoramento de Pressão e Slack (PMS) e toda a transmissão de dados entre os PMS's e as centrais de automação é realizada através de fibra óptica.

O potencial de proteção catódica medido em um ponto da tubulação é proporcional à tensão de saída dos retificadores próximos a esse ponto, ou seja, se um retificador estiver inoperante o potencial no trecho de tubulação em que ele interfere sofrerá uma variação. Considerando esse fato, através do valor do potencial de proteção medido em determinado PMS, podemos inferir o estado de funcionamento dos retificadores próximos a esse PMS.

Para realizar a medição do potencial no interior dos PMS's foram utilizados eletrodos de referência tipo permanente de cobre/sulfato de cobre (Cu/CuSO<sub>4</sub>), transdutores (entrada -10 a 10 V, saída 4-20 mA) e um indicador digital.

A diferença de potencial entre o eletrodo de referência e a tubulação é medida pelo transdutor que a converte em um sinal de corrente de 4-20 mA. Esse sinal de corrente é transmitido ao indicador que disponibiliza a informação, convertida para tensão, em um display e a

retransmite - também em 4-20 mA - para uma entrada analógica do Controlador Lógico Programável (CLP). Após receber a informação, o CLP a transmite para um multiplexador que converte a informação em sinal óptico e a transmite pela fibra até às centrais de automação nas unidades operacionais. O sinal recebido é processado e disponibilizado em sistemas supervísórios em que pode ser monitorado por operadores a qualquer instante. A figura 4 apresenta um esquema dos componentes citados.

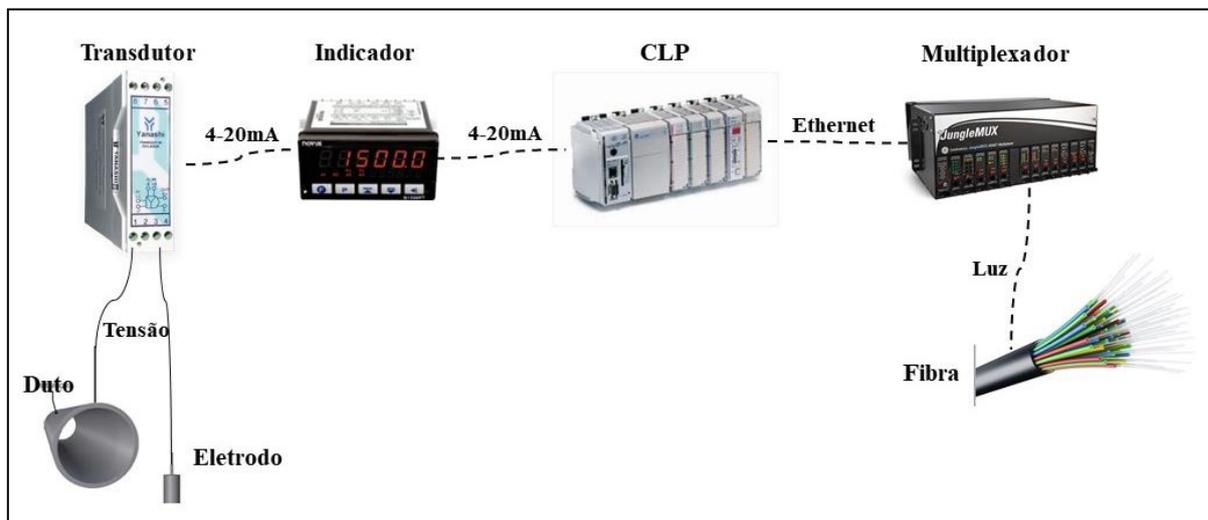


Figura 4 – Esquémático dos componentes sistema de medição de potencial

Como os valores dos potenciais são disponibilizados em tempo real, podem-se realizar algumas simulações e criar um banco de dados com valores, ou faixas de valores, de potencial que podem ser relacionados ao não funcionamento de determinado retificador.

Com esse banco de dados é relativamente fácil criar uma lógica para um sistema de supervisão dos retificadores utilizando o conceito de sensores virtuais (soft sensor), que nada mais é que um modelo que estima, através de técnicas de programação e em tempo real, a variável desejada a partir de dados de entrada que são variáveis que influenciam a variável ou informação desejada (3).

Empregando algorítmicos que utilizam técnicas de inteligência artificial, como aprendizagem de máquina e redes neurais, é possível utilizar os valores dos potenciais monitorados para identificar outros problemas além das falhas dos retificadores. Os valores dos potenciais podem indicar, por exemplo, uma falha no isolamento no interior dos PMS's ou até uma falha no próprio sistema de leitura de potencial.

## Resultados e discussão

Após instalados os pontos de medição de potencial em alguns PMS's foi possível acompanhar essas variáveis nos sistemas supervísórios das estações de bombeamento. Através dos sistemas supervísórios é possível gerar gráficos que permitem uma análise detalhada dos

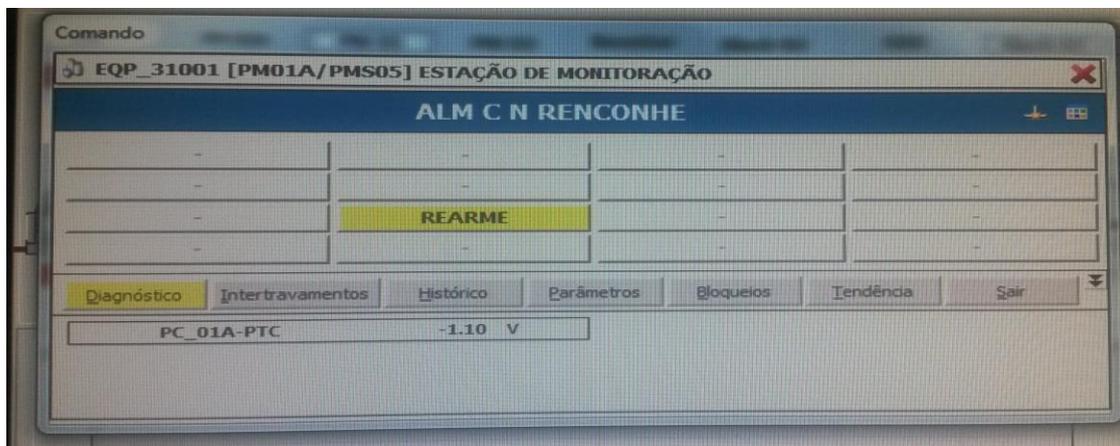
valores de potencial, identificando oscilações, tendências e outros comportamentos da variável.

Com essa ferramenta é relativamente simples reconhecer quando um determinado retificador não está operante. Na figura 5 pode-se verificar o indicador digital de um dos pontos de medição de potencial funcionando.



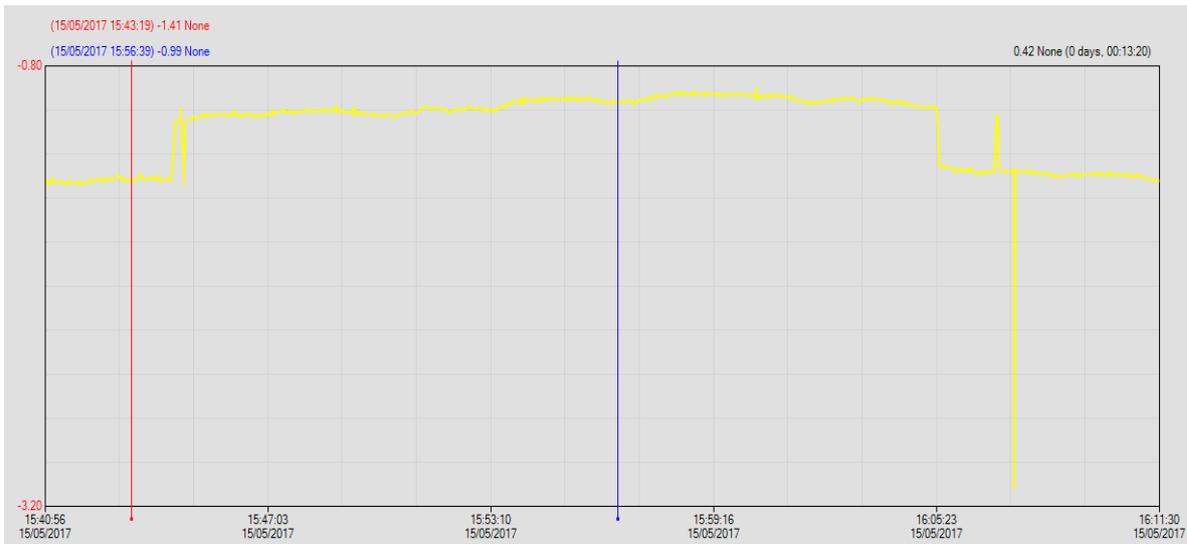
**Figura 5 – Transdutor e Indicador digital**

A figura 6 apresenta o valor de um dos pontos de medição indicado no sistema supervisório.

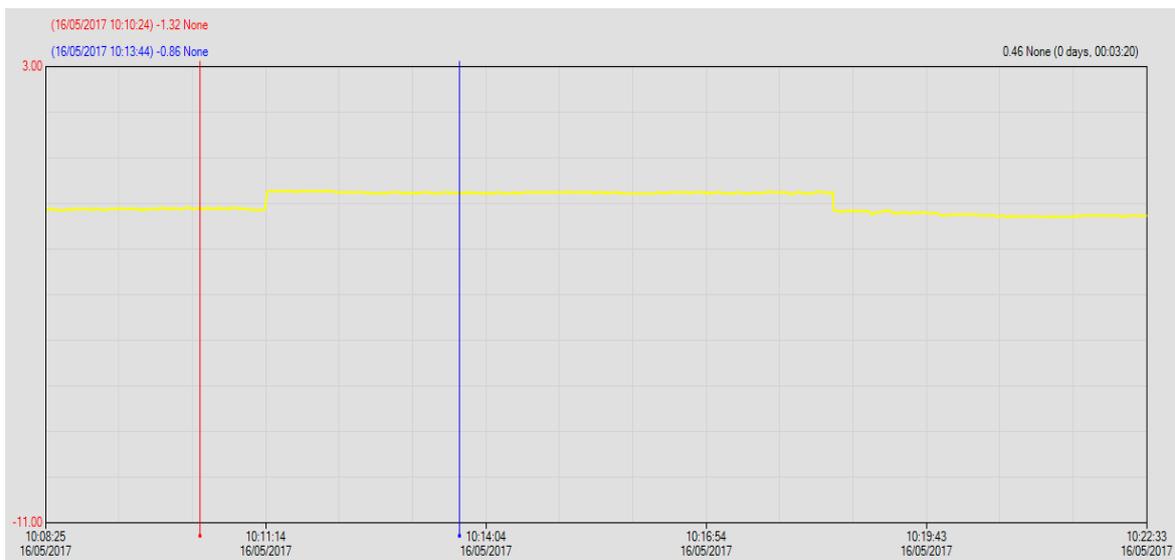


**Figura 6 – Indicação de potencial em supervisório**

Nas figuras 7 e 8 são retratados gráficos em que é possível identificar oscilações no potencial medido causadas pelo desligamento de um determinado retificador. Antes do desligamento, o potencial apresenta valores em torno de -1,4 V e após o desligamento os valores ficam em torno de -1,0 V.



**Figura 7 – Gráfico de potencial gerado em sistema supervisório**



**Figura 8 – Gráfico de potencial gerado em sistema supervisório**

A figura 9 apresenta uma representação da distribuição de retificadores e PMS's em um trecho dos minerodutos da empresa. Analisando essa distribuição, pode-se perceber que caso ocorra um desligamento do retificador RE01 ou do RE01A, por exemplo, o potencial no PMS01A sofrerá uma alteração.



Figura 9 – Distribuição de retificadores e PMS's

Esse trabalho apresentou os resultados esperados que permitiram claramente a identificação do estado de funcionamento dos retificadores através da análise dos potenciais medidos e monitorados nos PMS's.

## Conclusões

O monitoramento remoto de retificadores proporciona inúmeros benefícios à gestão dos sistemas de proteção catódica. A transmissão de dados, entre os retificadores e as centrais de controle, ainda apresenta certas dificuldades devido às grandes distâncias e ao fato de muitos retificadores serem instalados em locais remotos. Esses locais possuem pouca ou nenhuma cobertura de sinais que permitiriam que sistemas de comunicação que utilizam rádio ou tecnologia GSM, por exemplo, funcionassem bem. Como apresentado nesse documento, o monitoramento indireto dos retificadores através da leitura do potencial de proteção nos PMS's é uma alternativa eficiente e de fácil implementação em sistemas de dutos enterrados. Conforme mencionado, o uso de técnicas de programação com base em inteligência artificial permitiriam a identificação de outros problemas além da falha de determinado retificador, otimizando ainda mais esse modo de monitoramento.

## Referências bibliográficas

- (1) GERVÁSIO, J. P. K. **Proteção catódica, Efetivo combate à corrosão eletroquímica**, 2013. Disponível em: < [http://sulgas.usuarios.rdc.puc-rio.br/Prot\\_Catodica\\_Parte1.pdf](http://sulgas.usuarios.rdc.puc-rio.br/Prot_Catodica_Parte1.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2018.
- (2) SAMARCO MINERAÇÃO. **Relatório anual de sustentabilidade 2013**. Samarco Mineração, Mariana: 2013. Disponível em: <<http://www.samarco.com/wp-content/uploads/2016/08/2013-Relatorio-Anual-de-Sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2017.
- (3) LOTUFO, F. A.; GARCIA, C. Sensores virtuais ou Soft Sensors: Uma Introdução. **7th Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications**, Presidente Prudente, Mai 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/228413086\\_Sensores\\_Virtuais\\_ou\\_Soft\\_Sensors\\_Uma\\_introducao](https://www.researchgate.net/publication/228413086_Sensores_Virtuais_ou_Soft_Sensors_Uma_introducao)>. Acesso em: 18 fev. 2018.