

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/498

## Apresentação de Dois Tipos de Monitoramento em Encostas de Faixas de Dutos com Envio Programado de Dados

Célio Roberto Campos Piedade Jr

Eng. Msc – PETROBRAS TRANSPORTE SA. Guaramirim/SC, Brasil. celio.piedade@transpetro.com.br

Sabino Mondardo Júnior

Eng.Msc - PETROBRAS TRANSPORTE SA. Itajaí/SC, Brasil. sabinojr@transpetro.com.br

Marcelo Luvison Rigo

Eng. Dsc – PETROBRAS TRANSPORTE SA. Itajaí/SC, Brasil. mlrigo@transpetro.com.br

Hudson Regis Oliveira

Eng. Msc – PETROBRAS TRANSPORTE SA. Biguaçu/SC, Brasil. hudson.regis@transpetro.com.br

**RESUMO:** O monitoramento de instrumentos geotécnicos com envio programado de dados já é uma prática consolidada e com resultados confiáveis. Esse tipo de controle é composto basicamente por instrumentos digitais para aquisição de dados, armazenamento local de informações, sistema de envio e de fornecimento de energia. Os projetos de instrumentação automatizada devem ser elaborados por equipe multidisciplinar composta por profissionais da área geotécnica, de eletrônica, de TI e de automação. Após a instalação, é imperativo ter uma gestão de manutenção que garanta a disponibilidade dos equipamentos. A TRANSPETRO em sua Unidade Operacional Sul possui 13 pluviômetros instalados com envio programado de dados através de antenas satelitais. Em uma encosta da Faixa OLAPA, que contém o Oleoduto Araucária Paranaguá, estão implantadas 19 seções de extensômetros de corda vibrante fixadas no oleoduto e 5 piezômetros de corda vibrante. Neste local, um sistema de multiplexadores, um datalogger e a consulta dos dados é feita por uma IP Port conectada ao local por linha de telefonia móvel. O objetivo deste trabalho é mostrar a funcionalidade de cada sistema e a gestão da manutenção da disponibilidade. Para ilustrar a potencialidade dos instrumentos, serão mostrados alguns dados aquisitados de piezometria e da gestão de manutenção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Faixa de Dutos, Monitoramento Automatizado, Disponibilidade do Sistema, Pluviômetros.

**ABSTRACT:** Monitoring geotechnical instruments with scheduled data transmission is already a consolidated practice with reliable results. This type of control basically consists of digital instruments for data acquisition, local information storage, sending and energy supply systems. Automated instrumentation projects must be developed by a multidisciplinary team made up of professionals from the geotechnical, electronics, IT and automation areas. After installation, it is imperative to have maintenance management that guarantees the availability of the equipment. TRANSPETRO in its South Operational Unit has 13 rain gauges installed with programmed data sending via satellite antennas. On a slope of the OLAPA Range, which contains the Araucária Paranaguá Pipeline, 19 sections of vibrating string extensometers fixed to the pipeline and 5 vibrating string piezometers are installed. At this location, a system of multiplexers, a datalogger and data consultation is carried out via an IP Port connected to the location via a mobile telephone line. The objective of this work is to show the functionality of each system and the management of maintaining availability. To illustrate the potential of the instruments, some data acquired from piezometers and maintenance management will be shown.

**KEYWORDS:** Rights of Way, Online Monitoring, System Availability, Rain Gauges.

### 1 INTRODUÇÃO

A gestão de ativos das mais diversas áreas e segmentos visa a busca pela rentabilidade dos empreendimentos aliada ao aumento da segurança operacional. Desta forma, procura-se reduzir impactos às pessoas, ao meio ambiente e ao patrimônio pela implementação de uma série de protocolos e planos de contingência para obtenção de licenças de operação, renovação e situações de crise. Tais procedimentos são definidos pelos órgãos normativos, órgãos fiscalizadores e de auditoria.

As respostas de um plano de gestão preventivo podem ser exemplificadas pelo monitoramento de estruturas, evacuação de comunidades a jusante de barramentos, evacuação de comunidades em áreas de risco de deslizamentos e enchentes, fechamento de rodovias, interrupção do bombeio de dutos entre outras situações. Para tanto, informações e dados de instrumentação geotécnica e meteorológica necessitam ser utilizados na fundamentação da tomada das decisões.

Neste sentido, a utilização de leituras digitais obtidas e armazenadas continuamente possibilita a avaliação de uma quantidade maior e mais representativa de dados. Tais sistemas aliados ao envio programado de registros tende a diminuir o tempo entre a coleta das informações e sua disponibilidade para apreciação dos tomadores da decisão.

A TRANSPETRO, subsidiária integral da PETROBRAS, atua na operação e manutenção dos ativos logísticos dessa empresa fazendo o transporte de petróleo e derivados em território nacional. Em meio a Serra do Mar nos estados do Paraná e Santa Catarina, passam 2 faixas de dutos em áreas com elevada susceptibilidade a processos de movimentos de massas gravitacionais. Nesse contexto geológico, a empresa possui cerca de 20 áreas de encostas monitoradas. As encostas possuem planos de manutenção, de leitura de instrumentos e também um sistema de armazenamento dos registros. Dessa base de dados foram obtidas informações que ilustram este trabalho.

No decorrer do trabalho serão abordadas a robustez da aquisição digital, algumas modalidades de transmissão de dados, conceitos sobre a manutenção industrial e sua importância na obtenção da disponibilidade dos equipamentos. Por fim serão apresentados dados básicos da coleta de leitura de dois sistemas de monitoramento. Um deles com transmissão em telefonia móvel e outro em antena satelital. Embora operem com instrumentos diferentes, ambos os sistemas são funcionais e podem transmitir os mesmos tipos de dados.

## 2 JUSTIFICATIVA E REFERENCIAL TEÓRICO

O breve estudo elaborado neste trabalho advém de necessidade montar sistemas de monitoramento que propiciem a tomada de decisões emergenciais seguras e assertivas no menor tempo possível. Nesse sentido, a telemedição com envio programado, desde que com disponibilidade e redundância adequadas, supre as necessidades.

Existem várias formas de transmissão de dados para atender os tempos de resposta definidos. As opções variam desde a conexão por linha telefônica móvel, sinais de rádio, wi fi e transmissão satelital e etc. A Tabela 1, elaborada com base na experiência da TRANSPETRO, mostra um breve comparativo da potencialidade de cada sistema de transmissão.

Tabela 1. Comparativo de sistemas de transmissão (Fonte: Os Autores).

Sistema	Bluetooth	Wifi	Radiocomunicação Spread Spectrum	Telefonia movel	Antena satelital
Taxa de transmissão (Mbps)	0,723	11 a 54	0,12 a 1,20	100	100 a 200
Alcance aproximado (km)	0,100	0,300	90	Ilimitado	Ilimitado
Imunidade a ruídos/interfer.	Alto	Baixo	Alto	Moderado	Alto
Consumo de energia	Baixo	Moderado	Baixo	Moderado	Alto
Custo	Baixo	Baixo	Baixo	Alto	Alto
Segurança digital	Moderado	Moderado	Seguro	Moderado	Seguro

Para definição e escolha dos sistemas, parte-se do princípio que os sensores devem ser digitais, ligados por cabos ou sinais sem fio a sistemas de leitura, multiplexadores, dataloggers, sistema de transmissão, local de consulta, programa de leitura. Não pode ser esquecido o fornecimento de energia para os equipamentos, item importante pois geralmente os locais de monitoramento geotécnicos são remotos.

Toda a informação deve ter um armazenamento em tempos definidos e envios padronizados. O sistema de energia deve ser dimensionado para atender a demanda projetada. O local de consulta pode ser um programa

em um portal acessado na web, redes das próprias empresas ou em IP Ports de empresas terceiras. Em quaisquer casos são utilizados aplicativos para visualizar os dados, produzir análises ou baixar registros em txt, csv ou em xls.

A necessidade de instalar sistemas de monitoramento complexos e mantê-los com elevada confiabilidade torna necessária a utilização de ferramentas de gestão mais elaboradas advindas da engenharia de manutenção industrial.

A atividade de manutenção pode ser entendida como um conjunto de medidas, técnicas ou ações para detectar, prevenir, corrigir falhas ou defeitos com o objetivo de preservar a função para o qual o ativo foi projetado. O defeito pode ser entendido com uma alteração suficiente para que a função normal de um ativo não seja satisfatória. Um defeito não torna o ativo indisponível, mas se não reparado ou corrigido o levará a falha funcional. Já a falha é a perda da capacidade do ativo em realizar sua função (Filho, 2008).

Um trabalho introdutório desses conceitos pode ser a publicação de Abreu (2022). Com uma linguagem acessível, o autor justifica a necessidade da manutenção na indústria, expõe conceitos e explica a evolução desta disciplina entre 1989 e 2020.

Ainda em Filho (2008) podem ser estudadas as noções de Confiabilidade e Disponibilidade. O primeiro termo, intuitivamente está ligado a baixa ocorrência de falha. O outro termo está ligado ao número de ocorrências e o tempo necessário para reparo em cada uma destas falhas. Quanto mais fácil a realização da manutenção de um ativo, melhor é a sua Manutenibilidade. Assim, de modo conceitual, entende-se que um sistema de elevada confiabilidade e disponibilidade apresenta limitada ocorrência de falhas e elevada capacidade de reparo.

As três políticas básicas de manutenção seriam a Corretiva, Preventiva e Preditiva conforme a Tabela 2. A primeira é a mais antiga forma de fazer a manutenção. Ela é executada após ocorrência da falha do equipamento através do reparo do mesmo. Em seguida surge a manutenção preventiva. Ela é realizada preferencialmente antes da falha. Por último, a manutenção preditiva também é executada antes da falha. Porém, são estimados os tempos de ocorrência e ações pontuais de modo a alongar ao máximo da disponibilidade e da vida útil do equipamentos dos equipamentos (Abreu, 2022).

Tabela 2. Tipos de manutenção (Adaptado de Abreu, 2022).

Tipo de manutenção	Ações	Exemplo
Corretiva (Falha)	Reparo, substituição	Componentes queimados, quebrados ou descarregados
Preventiva (Tempo)	Reparo, substituição	Componentes queimados, quebrados, vencidos, descarregados, entupidos, colmatados
Preventiva (Uso)	Inspeção	Verificação de limpeza, desgaste, integridade, aquecimento
Preventiva (Projeto)	Substituição	Substituição de componentes conforme manual do fornecedor ou conforme o risco
Preditiva (Detecção e Condição)	Inspeção	Inspeção baseada na previsão de falha e monitoramento de índices

Para operacionalizar toda essa rotina são utilizados sistemas corporativos de gerenciamento da manutenção onde são cadastrados planos de inspeção e de manutenção. A ferramenta faz a emissão programada de ordens de serviço (OS), o controle de conclusão da OS, os resultados e os históricos para fins de rastreabilidade. O plano de manutenção também deve prever a compra e reposição dos diversos componentes da instrumentação como cabos, baterias, painéis solares, fusíveis, sensores de corda vibrante, medidores de vazão e etc.

Não é objetivo desse espaço tratar da implantação das filosofias de sistemáticas da manutenção industrial como o MCC (Manutenção Centrada em Falha) ou o TPM (*Total Productive Maintenance*). Tais processos de gestão são largamente utilizados nas áreas industriais do Sistema Petrobrás. A área de dutos e terminais da Região Sul da empresa possui profissionais de manutenção industrial, e eles buscam implantar a gestão nos instrumentos geotécnicos tal como implantaram no monitoramento das áreas industriais.

Vale destacar uma aplicação prática da sistemática QA/QC (*Quality Assurance/Quality Control*) na geotecnia que pode ser estudada em SWINKA (2023). Esta autora aplica a Garantia da Qualidade e Controle da Qualidade na instalação de piezômetros monitorados remotamente em uma barragem de rejeitos. No

trabalho, se observa o foco em um projeto de concepção de monitoramento e transmissão, recepção dos equipamentos e testes em bancadas, calibração de sensores e ensaios de validação em campo. São descritas a a implantação de planos de inspeção e manutenção.

### 3 SISTEMAS DE MONITORAMENTO IMPLANTADOS

#### 3.1 Sistema de telemedição das encostas do km 57+200 da faixa de dutos OLAPA

O sistema de monitoramento foi implantado em 2003 após eventos geotécnicos reportados por Soares (2001), Suzuki (2004) e mais recentemente em Piedade Junior et al (2022). A instrumentação foi composta inicialmente por 16 seções de extensômetros de corda vibrante e 5 pizômetros de corda vibrante. Em 2017 foram incorporadas mais 3 seções de extensômetros. Apesar de antigo, o sistema é constantemente atualizado pela empresa.

A instrumentação foi concebida com os sensores de corda vibrante, ligação com cabos até uma edificação cercada junto a faixa de dutos onde se encontram multiplexadores, datalogger, sistema de transmissão e fornecimento de energia. A consulta das informações era feita por sistema corporativo da empresa que armazena as campanhas de leituras de instrumentos geotécnicos. Inicialmente, foi implantado no sistema uma rotina computacional que acessava o datalogger por ligação telefônica, obtinha os dados e os lançava no sistema. As informações eram buscadas com frequência estipulada e o datalogger guarda as leituras a cada 5 minutos.

O acesso remoto é feito por uma IP PORT da empresa fornecedora através de um software. Em seguida os dados são baixados localmente em txt para posterior lançamento no banco de dados. A Figura 1 mostra várias fotos do sistema de aquisição detacando-se os *claspers* de entrada, multiplexadores, leitores de frequência, datalogger, regulador de energia, modem 3G e antena TRIBAND onde se vê a placa solar.

Na Figura 2 é evidenciada a principal limitação deste sistema que é a demora em conseguir a conexão com o equipamento chegando a horas ou alguns dias de tentativa.

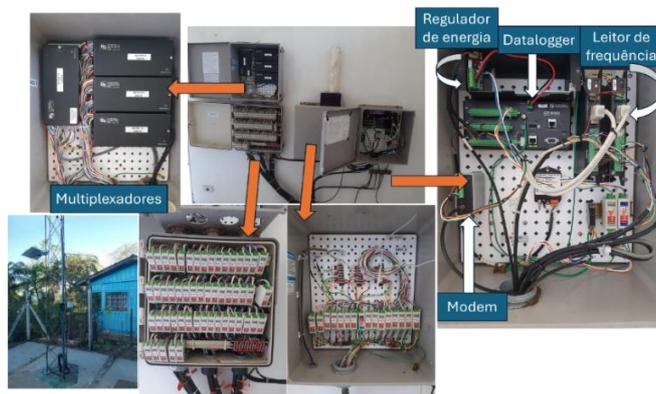


Figura 1. Componentes do sistema de telemedição em telefonia móvel (Fonte: Os Autores).

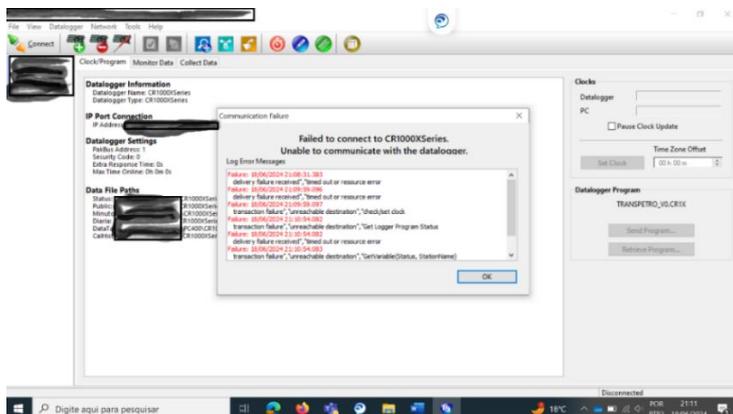


Figura 2. Resposta do sistema onde não se obtém conexão (Fonte: Os Autores).

### 3.2 Sistema de pluviômetros das faixas de dutos no Paraná e Santa Catarina

Os deslizamentos de encostas, rastejos e as corridas de detritos são os tipos de movimentos de massas gravitacionais mais comuns nas faixas de dutos que cruzam a Serra do Mar no Brasil. Tais eventos tem potencial e histórico de comprometer a integridade das faixas, podendo causar a ruptura dos dutos culminando em grandes vazamentos.

Como forma de preparação para eventos adversos, foram instalados 13 pluviômetros alocados em pontos estratégicos das faixas de dutos que cruzam as regiões serranas nos estados do Paraná e Santa Catarina. Os locais de instalação dos equipamentos também são ermos e de difícil acesso, sem fornecimento de energia elétrica por concessionárias e tampouco coberto por sinal de celular. Desta forma, foi concebido um sistema conforme a Figura 3. Os componentes podem ser observados na Figura 4.

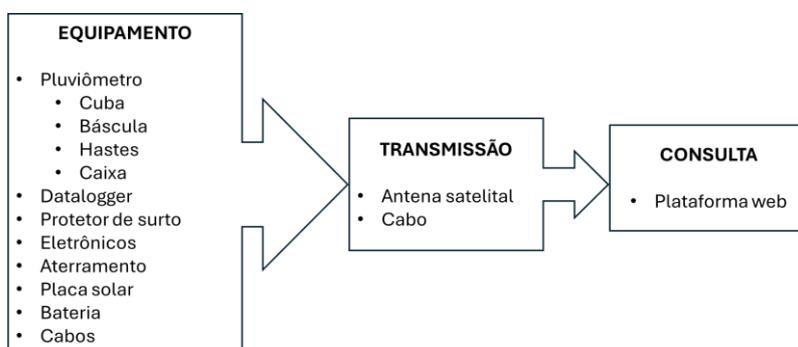


Figura 3. Componentes do sistema (Fonte: Os Autores).

Inicialmente foi feito o cadastro e avaliação da possibilidade e tempo de falha de cada elemento. Em seguida são propostos plano de inspeção e de manutenção. Componentes como a placa solar e a cuba necessitam de uma limpeza trimestral. A antena satelital necessita de uma manutenção bianual. A bateria necessita de substituição a cada 3 anos. Os cabos necessitam de limpeza e do cuidado na instalação visto que alguns foram rompidos durante as primeiras plugagens. Os planos de inspeção e manutenção são cadastrados no sistema corporativo da empresa, com emissão de ordens de serviço e controle de atendimento.

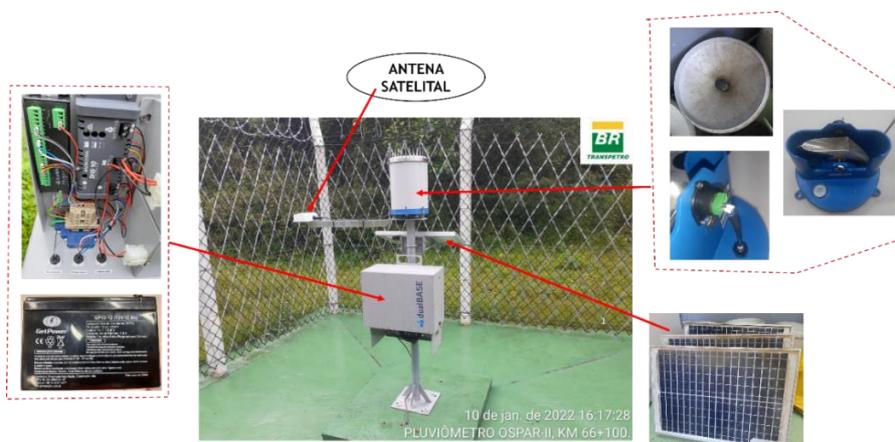


Figura 4. Fotos dos componentes (Fonte: Os Autores).

O sistema vem sendo utilizado e as leituras anômolas são avaliadas. Mensalmente a disponibilidade dos equipamentos e monitorada e as ocorrências motivam inspeções e manutenções. A Figura 5 mostra a conexão do sistema com 30 instrumentos.

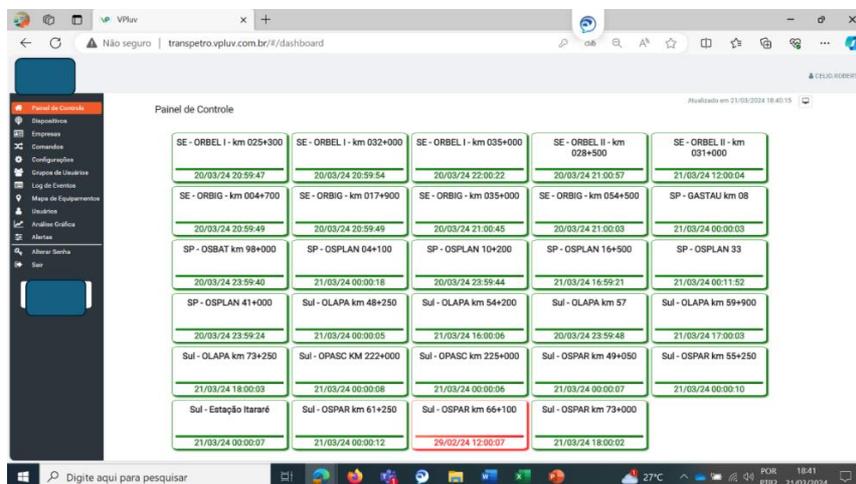


Figura 5. Visão do painel de controle dos instrumentos (Fonte: Os Autores).

#### 4 APRESENTAÇÃO DE ALGUNS DADOS

Nesta seção são apresentados alguns dados gerados pelos 2 tipos de sistema instalados uma vez que são produzidas uma quantidade impeditiva de leituras para apresentação em um curto espaço.

A Figura 6 mostra 4 gráficos que evidenciam a robustez da quantidade de leituras e as vantagens do monitoramento automático. Na Figura 6a aparecem leituras contínuas de um período de cerca de 10 anos. O aspecto da curva é propositalmente grosseiro visto que não se trata de uma linha, mas de marcadores sobrepostos devido a quantidade elevada de leituras. São marcados 2 círculos referentes aos Detalhes 1 e 3.

O primeiro se refere ao pico de leitura entre 17/01/2011 e 08/03/2011. Na Figura 6b observa-se o registro ampliado. Percebe-se que não se trata de uma leitura de pico repentino, mas de um processo cerca de 45 dias entre a elevação do NA e o rebaixamento. O registro não saiu da profundidade de 13 m e foi para 8 m em apenas 2 dias, mas em aproximadamente 30 dias. Por outro lado, o rebaixamento do NA ocorreu em cerca de 15 dias.

O Detalhe 2 mostrado na Figura 6d evidencia a elevação do NA entre os dias 17/01 e 21/01. Em 4 dias o NA se elevou em 25 cm. A quantidade de leituras pode ser feita contando os marcadores.

O Detalhe 3, mostrado na Figura 6c, é ampliado de modo a mostrar um conjunto de leituras contínuas entre 10/06/2006 e 04/07/2006. Ao contrário do Detalhe 1 que pode detonar uma elevação devido as chuvas que são sabidamente ocorridas na região o Detalhe 3 está entre dois períodos sem disponibilidade do sensor. As leituras indicam profundidades de cerca de 19 m por cerca de 20 dias. Este valor é superior ao comprimento do instrumento indicando anomalias.

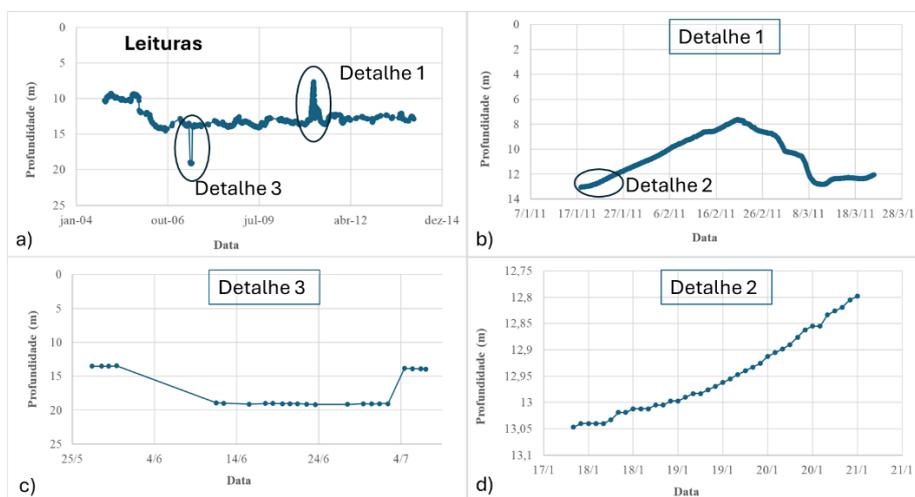


Figura 6. Histórico de leituras digitais de um piezômetro (Fonte: Os Autores).

A Figura 7 mostra uma captura de tela onde se observa a precipitação acumulada desde janeiro de 2024 até junho de 2024 para 6 pluviômetros instalados nas faixas de dutos do Paraná e Santa Catarina. São mostrados acumulados de 1000 mm a 1500 mm no período considerado. Caso se deseje analisar um período específico basta selecionar que o sistema detalha. Caso seja necessário copiar esses dados que estão na nuvem o sistema gera arquivos .xls ou .csv que podem ser analisados de modo alternativo ou lançados em outro tipo de banco de dados. Cabe ressaltar que a conexão é bastante rápida e confiável.

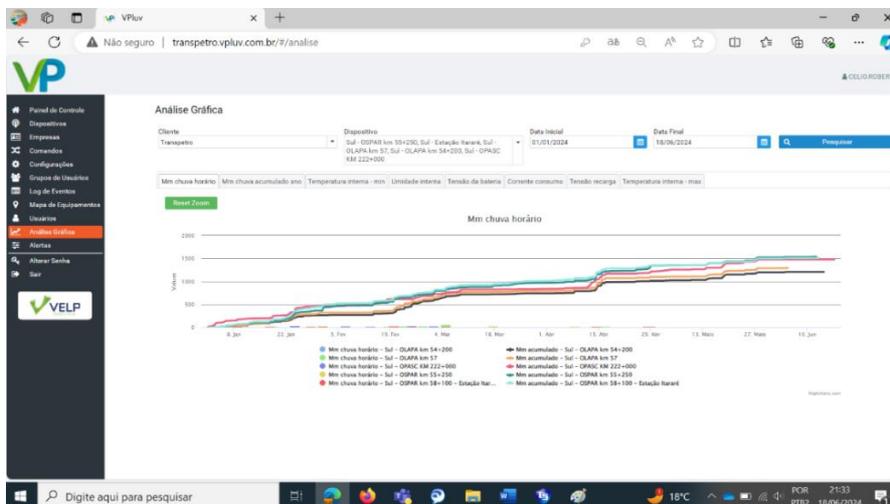


Figura 7. Resultado acumulado das leituras dos pluviômetros (Fonte: Os Autores).

Com relação as atividades de manutenção industrial, A Figura 8 mostra o gráfico de disponibilidade dos pluviômetros automatizados. Observa-se que no início da aplicação dos protocolos em julho/2022 existiam 5 de 13 instrumentos operacionais. Em dezembro/2022 já existiam 11 de 13 instrumentos com comunicação. A gestão de peças e sobressalentes permitiu montar mais um em fevereiro/2023. Por fim com a estabilização dos estoques, de dezembro de 2023 até março de 2024, são obtidos 100% de disponibilidade.

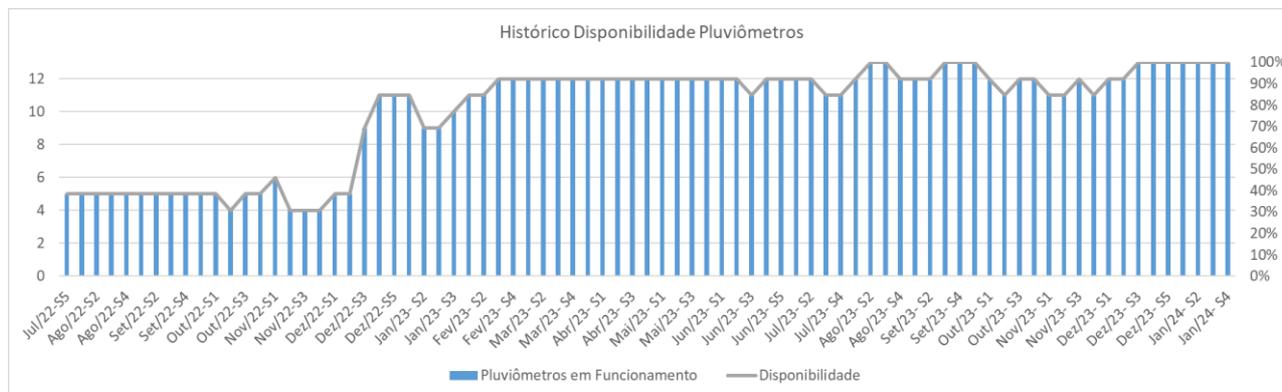


Figura 8. Controle de disponibilidade dos pluviômetros automatizados.

## 5 CONCLUSÕES

Diante da questão da viabilidade do monitoramento geotécnico automatizado, é possível responder positivamente. As necessidades normativas de respostas mais rápidas nos momentos de crise e o desenvolvimento tecnológico podem difundir os sistemas de monitoramento e baratear o custo. É imperativo que o proprietário dos ativos entenda que o tipo de transmissão e a quantidade de dados são definidas pelos objetivos do projeto. Também é muito importante que o sistema seja concebido, implantado e mantido por profissionais treinados. Outras questões são pontuadas a seguir:

- a) As leituras digitais com sistemas de aquisição de dados podem produzir uma quantidade extensa de dados possibilitando aos engenheiros e pesquisadores uma base rica de informações para análise;
- b) No km 57+200 da Faixa de Dutos OLAPA o sistema permitiu discretizar picos de leituras em uma série de 10 anos mostrando que em alguns casos, fenômenos que em primeira vista se supões serem repentinos podem levar cerca de 45 dias;
- c) No mesmo sistema também é possível detectar uma série de leituras inconsistentes obtidas manualmente por um período de 20 dias;
- d) A transmissão por telefonia móvel, neste caso, apresenta dificuldades devido a instabilidade do sinal. Não obstante, as leituras são baixadas regularmente;
- e) O sistema de pluviômetros com envio de dados por antena satelital apresenta uma consulta de dados bastante rápida e confiável;
- f) A aquisição dos dados de pluviometria, evidencia a vantagem de um operador de ativos ter seu próprio sistema, instalado no seu local de interesse e mostrando volumes acumulados em período mínimo de 6 meses.
- g) Um sistema, mesmo que robusto pode apresentar indisponibilidades pontuais. Por isso é recomendável a inserção de vários instrumentos bem como outros tipos de controle para obter redundância;
- h) As atividades, controles e estratégias de engenharia de manutenção são indispensáveis para a manutenção de uma boa disponibilidade como demonstrado no caso dos pluviômetros.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Gerência Geral da UO-Sul da PETROBRAS TRANSPORTE SA pelo incentivo e cessão dos dados. Também merecem um reconhecimento os profissionais de manutenção industrial e de faixas de dutos que trabalham com dedicação nos ativos da empresa. Por fim, agradecem aos avaliadores do evento pelas sugestões e reflexões.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, T. R. (2022) *Principais conceitos na implantação da sistemática de manutenção nas indústrias*. Research, Society and Development, v. 11, n. 1, e23911124652, 2022. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24652>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- Filho, G. B.(2008) *A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção*. Ciência Moderna. Rio de Janeiro, RJ.
- Piedade Júnior, C. R. C., Rigo, M. L., Langone, M. J., Oliveira, H. R., Souza, A. J. P. (2022) Condições Geotécnicas da Encosta em Faixa de Dutos no Paraná com Base no Histórico de 20 Anos de Monitoramento. In: VIII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE, Recife, PE. *CD-ROM*.
- Soares, J. P, Musman, V. R. (2001) Condições Geotécnicas da Encosta em Faixa de Dutos no Paraná com Base no Histórico de 20 Anos de Monitoramento. In: III Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE, Recife, PE. p571-577.
- Suzuki, S. (2004) *Propriedades geomecânicas de alguns solos residuais e coluviais ao longo do Oleoduto Curitiba Paranaçu*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ.329p.
- Swinka, L. T. M. (2023) *Proposta de metodologia de QA/QC no processo de automação de piezômetros: Estudo de caso em uma estrutura geotécnica da mineração*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil, Setor de Tecnologia, Univerdidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba-PR.165 p.