Publico

XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.2/3

Análise e Monitoramento de Aterros Ferroviários Instrumentados Utilizando Técnicas de *Business Intelligence*

Rânila Evellin Guedes Cardoso Mantovani Pereira
Engenheira Geotécnica, IDG Engenharia, Primavera do Leste-MT, Brasil, ranila_evellin@hotmail.com

Cleyton Guerino Dall'agnol da Cruz
Analista de Dados, Rumo S. A., Curitiba-PR, Brasil, cleytondacruz@gmail.com

Paola Dutra
Engenheira Geotécnica, Rumo S.A., Curitiba-PR, Brasil, paola_dutra@outlook.com

Mariane Sliwinski
Engenheira Civil, IDG Engenharia, Rondonópolis-MT, Brasil, marianesliwinski@gmail.com

RESUMO: A instrumentação para o monitoramento de estruturas geotécnicas é fundamental para garantir a segurança, análise de desempenho e identificação de desvios não previstos ao longo da construção. Na Ferrovia Estadual de Mato Grosso há alguns aterros instrumentados com placas de recalque, marcos superficiais e indicadores de nível de água, sendo a análise dos resultados realizada através de planilhas Excel. Em função da quantidade de dados analisados houve a necessidade da implementação de um controle integrado e confiável dos dados monitorados, reduzindo o tempo de análise e permitindo ações rápidas quando necessário. Este trabalho tem como objetivo apresentar a aplicação de *business intelligence (BI)* no acompanhamento de aterros instrumentados da Ferrovia de Mato Grosso. Foi realizado um diagnóstico da atual situação de monitoramento e redefinido um novo fluxo de coleta e armazenamento dos dados, bem como desenvolvido um painel com software *Power* BI para análise dos resultados. O painel permite visualizar a magnitude e a velocidade dos recalques, além de emitir alertas para leituras inconsistentes, recalques elevados ou velocidades expressivas. O desenvolvimento dessa ferramenta resultou em maior assertividade das análises, tornou mais dinâmico o acompanhamento e liberação dos aterros e viabilizou o acesso ao histórico dos dados de monitoramento, fornecendo *insights* relevantes para o projeto executivo de trechos ainda em elaboração.

PALAVRAS-CHAVE: Instrumentação, Ferrovia, Business Intelligence, Placa de recalque, Marco superficial.

ABSTRACT: Instrumentation for monitoring geotechnical structures is fundamental to ensuring safety, performance analysis, and identification of unforeseen deviations during construction. On the Mato Grosso State Railway, several embankments are instrumented with settlement plates, surface settlement marker, and water level indicators, with results analysis performed using Excel spreadsheets. Due to the amount of analyzed data, there was a need to implement integrated and reliable control of the monitored data, reducing analysis time and allowing for quick actions when necessary. This work aims to present the application of business intelligence (BI) in the monitoring of instrumented embankments on the Mato Grosso Railway. A diagnosis of the current monitoring situation was carried out, and a new data collection and storage flow was redefined, as well as the development of a dashboard using Power BI software for results analysis. The dashboard allows visualization of the magnitude and speed of settlements, in addition to issuing alerts for inconsistent readings, high settlements, or significant speeds. The development of this tool resulted in more accurate analyses, made the monitoring and release of landfills more dynamic, and enabled access to historical monitoring data, providing relevant insights for the detailed design of sections still under development.

KEYWORDS: Instrumentation, Railway, Business Intelligence, Settlement plate, Surface Settlement Marker.

Publico

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento geotécnico constitui uma etapa essencial em obras de infraestrutura, pois garante maior segurança, previsibilidade e controle do comportamento do maciço e das estruturas associadas. Conforme apresentado no estudo de caso da modernização da Ferrovia na Eslováquia, o monitoramento geotécnico de um corte corroborou para o acompanhamento do deslizamento ocorrido durante e após a execução da obra, assim como a avaliação da variação do nível de água (KOPECKÝ et al; 2020).

De forma análoga, a Ferrovia Estadual do Mato Grosso possui diversos aterros que foram instrumentados para acompanhar o comportamento geotécnico durante a implantação da via. Considerando que a natureza linear da referida obra amplia a complexidade do monitoramento, dado o grande número de pontos instrumentados distribuídos por longas extensões, e utilizar métodos tradicionais de análise de dados, baseados em planilhas Excel, mostraram-se limitados frente ao crescente volume de dados.

Com isso a consolidação manual das leituras e a dificuldade de correlacionar informações de diferentes instrumentos tornaram os processos lentos, suscetíveis a erros e menos eficientes para a tomada de decisão.

Nesse contexto, tornou-se necessário um sistema mais integrado e dinâmico para o tratamento das informações de monitoramento. Ferramentas de *Business Intelligence* (BI) apresentam-se como solução ao automatizar o processamento dos dados, integrar múltiplas fontes e permitir visualizações intuitivas e atualizadas. Além disso, possibilitam a criação de alertas automáticos e a avaliação conjunta da magnitude e velocidade dos recalques, favorecendo a rápida identificação de leituras anômalas.

Dessa forma, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de uma solução em BI para o acompanhamento de aterros instrumentados da Ferrovia Estadual de Mato Grosso. O estudo abrange o diagnóstico do sistema atual de monitoramento, a reestruturação do fluxo de coleta e armazenamento das informações e a elaboração de um painel interativo em Power BI, destinado à análise integrada dos resultados.

O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2, descreve-se a metodologia adotada para o desenvolvimento da solução; na seção 3, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos com a implementação do BI; e, por fim, na seção 4, são apresentadas as conclusões da utilização da ferramenta.

2 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho estruturou-se, inicialmente, em um diagnóstico situacional do fluxo de monitoramento. Identificou-se que o armazenamento dos dados ocorria em planilhas eletrônicas descentralizadas, segregadas por tipo de instrumento e localização geográfica. Esse modelo de controle apresentava limitações críticas, como a dificuldade na correlação de leituras entre diferentes instrumentos e a inexistência de filtros dinâmicos que permitissem uma análise fluida e integrada.

Diante desse cenário, seguiu-se para a padronização e higienização dos dados, culminando na unificação das fontes em três repositórios principais, classificados como Tabelas Fato (uma para cada tipo de instrumento). Paralelamente, aplicou-se o conceito de Tabelas Dimensão para o gerenciamento de dados categóricos e metadados dos instrumentos e aterros. Após a consolidação das fontes, as bases foram integradas ao software Power BI, dando início ao processo de ETL (*Extract, Transform, Load*), visando a garantia da integridade e a automação do fluxo de informações e posterior geração dos dashboards (FERREIRA *et al*, 2010).

2.1 Instrumentos Geotécnicos

Instrumentos geotécnicos são dispositivos utilizados para medir, monitorar e controlar o comportamento do solo e das estruturas geotécnicas ao longo do tempo. Na Ferrovia de Mato Grosso foram instalados, nos aterros, 3 (três) tipos de instrumentos geotécnicos: placas de recalque (PR), marcos superficiais (MS) e indicadores de nível de água (INA).

A precisão e a periodicidade dessas leituras são fundamentais, pois fornecem os dados brutos necessários para a identificação precoce de comportamentos anômalos que possam comprometer a integridade da via.

Publico

2.1.1 Placa de Recalque

A placa de recalque é um instrumento composto por uma base quadrada e uma haste central com rosca na ponta, e é instalada, no geral, na base do aterro. Conforme o aterro é alteado, adiciona-se uma nova haste, possibilitando assim a leitura do instrumento até a finalização do aterro (ALMEIDA E MARQUES, 2010).

O objetivo da placa de recalque é medir os deslocamentos verticais desde a fundação e para isso o monitoramento é realizado com a leitura da cota da haste em conjunto com a leitura da cota do aterro. Assim, é possível avaliar o recalque ocorrido em detrimento da altura do aterro.

O recalque é a diferença entre a leitura atual e a leitura anterior. Cabe destacar que no gráfico é representado no eixo das abcissas a data das leituras, e no eixo negativo das ordenadas, o recalque acumulado, já no eixo positivo das ordenadas, a cota do aterro acumulada.

2.1.2 Indicador de Nível de Água

O indicador de nível de água tem como objetivo monitorar a variação do nível de água, podendo ser instalado na fase de projeto de forma a se ter dados de referência para o projeto, ou pode ser instalado no início da obra.

No geral, o instrumento é instalado no pé do talude e tem como referência a cota do terreno natural. As leituras são realizadas com o pio e a diferença entre a cota do terreno natural e a leitura corresponde a cota do nível de água.

Tem-se, no gráfico, o eixo das abcissas se referindo a data das leituras, enquanto o eixo das ordenadas contém cota do nível de água e uma constante que se refere ao terreno natural.

2.1.3 Marco superficial

O marco superficial é composto por um bloco de concreto e uma haste central que serve para realizar as leituras e pode ser instalado no pé do talude, na berma ou na plataforma do aterro.

O instrumento tem como objetivo medir os deslocamentos verticais e horizontais da plataforma. O vertical é a diferença entre a cota da leitura atual e a cota da primeira leitura, já o deslocamento horizontal é calculado pela Equação 1.

$$Deslocamento\ horizontal = \sqrt{(X_n - X_i)^2 + (Y_n - Y_i)^2} \quad (1)$$

Sendo:
X_i e Y_i – Leituras de norte e leste iniciais;
X_n e Y_n – Leituras de norte e leste atuais.

O gráfico apresenta no eixo das abcissas a data da leitura, já nas ordenadas se tem os deslocamentos verticais e horizontais.

2.2 Limpeza e Tratamento dos Dados

A etapa de ETL (*Extract, Transform, Load*) foi executada por meio da ferramenta Power Query. O processo de extração conectou-se às fontes de dados padronizadas, seguido por uma fase rigorosa de transformação. Nesta fase, aplicou-se a limpeza de registros inconsistentes, a tipagem correta de variáveis (datas, coordenadas e medidas decimais) e a criação de colunas condicionais para validação de erros de campo. Essa transformação prévia ao carregamento (*Load*) no modelo de dados garantiu a redução da redundância e a otimização da performance analítica.

Após o carregamento dos dados, a inteligência analítica foi implementada por meio da linguagem DAX (*Data Analysis Expressions*) que permite uma análise dinâmica dos desvios geotécnicos, fundamentada em dois pilares comparativos: os parâmetros nominais de projeto e o histórico de leituras sucessivas.

Para a avaliação de deslocamentos, como no caso das placas de recalques (PR), a lógica computacional foi estruturada para calcular a variação em relação ao *v0* (leitura inicial de instalação). Essa variação é contrastada

continuamente com as leituras imediatamente anteriores para determinar a velocidade de movimentação. Para operacionalizar a gestão de riscos, foram desenvolvidas colunas auxiliares de alerta e 'faróis' de criticidade. Essas colunas aplicam regras lógicas que classificam o status do instrumento como “Sem Ação”, “Atenção” ou “Alerta”, baseando-se em limites normativos de velocidade e magnitude de deslocamento, permitindo a identificação imediata de comportamentos anômalos ou desvios do projeto executivo.

2.3 Definição do Modelo de Dados

A estruturação dos dados seguiu o modelo dimensional *Star Schema*, visando a otimização da performance de processamento e clareza analítica. O modelo é composto por tabelas de dimensões, que contêm os metadados e parâmetros de projeto, e tabelas de fatos que armazenam os registros históricos das medições de campo. A integridade dos dados é mantida através de relacionamentos de um-para-muitos (1:*), utilizando chaves primárias únicas por instrumento (KIRMANI; 2017). Adicionalmente, implementou-se uma tabela de “Calendário” para viabilizar funções de inteligência de tempo, permitindo a análise da evolução dos desvios em períodos.

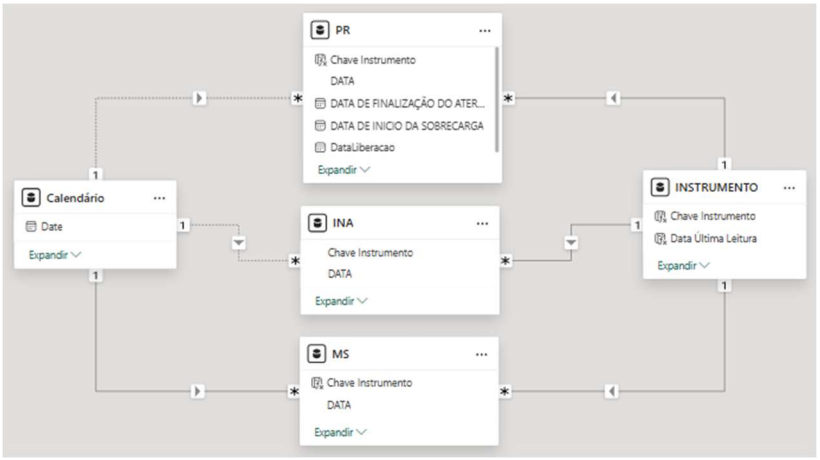


Figura 1: Diagrama de Entidade-Relacionamento (DER) em *star schema*.

A adoção do *Star Schema* permitiu a desnormalização controlada dos dados, o que facilita o consumo por usuários finais e agiliza o tempo de resposta das consultas (*queries*). Enquanto as tabelas fato (PR, INA e MS) registram a volatilidade das leituras de campo, as tabelas dimensão funcionam como o “dicionário” do projeto, armazenando os códigos dos instrumentos, cotas de projeto e coordenadas. Essa separação é fundamental para evitar o crescimento desordenado das bases de dados, garantindo que o histórico de milhares de leituras não comprometa a velocidade de filtragem por trecho ou construtora.

2.4 Desenvolvimento do Dashboard

A última etapa consistiu na estruturação da interface de visualização (*front-end*), projetada para oferecer uma hierarquia de informações que suportasse a tomada de decisão ágil. O painel foi segmentado em abas específicas para cada tipologia de instrumentação (PR, MS e INA), mantendo uma identidade visual padronizada para facilitar a curva de aprendizado dos usuários.

O diferencial geoespacial foi obtido através da integração do visual ArcGIS for Power BI, o que permitiu a criação de um mapa com a localização exata de cada instrumento em relação ao traçado ferroviário. Para realizar essa integração, elaborou-se um mapa no ArcGIS Enterprise, Figura 2, utilizando os arquivos *shapefile* contendo, dentre outras informações, o traçado ferroviário, estaqueamento e plataforma.

O uso desse visual eleva o painel de um gráfico estático para um Sistema de Informação Geográfica (SIG) dinâmico. A sobreposição dos dados de monitoramento ao *shapefile* da plataforma ferroviária permite que o engenheiro identifique padrões espaciais de recalque, como trechos com solos moles que podem estar apresentando comportamentos similares em diferentes instrumentos.

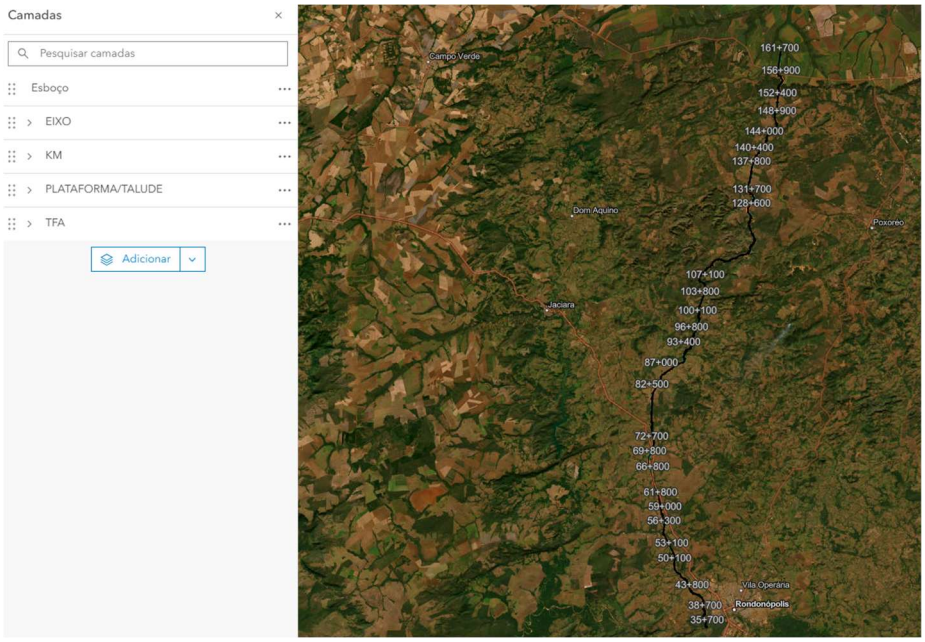


Figura 2: Elaboração do mapa no ArcGIS Enterprise.

A evolução temporal dos dados é apresentada em gráficos de linhas, que correlacionam a altura do aterro com o recalque medido. Por fim, uma tabela analítica detalha as leituras individuais, utilizando a técnica de formatação condicional (coluna 'Farol') que atua como uma camada de inteligência preventiva. A lógica inserida não se limita a valores estáticos. Ela processa cálculos automáticos que comparam a velocidade de recalque com os limites de segurança estabelecidos na literatura técnica e no histório de leituras realizadas. Assim, o destaque em vermelho serve como um gatilho para a suspensão imediata de novas camadas de aterro ou para o início de investigações complementares, reduzindo o intervalo entre o evento físico em campo e a ação mitigadora da gestão de engenharia.

3 RESULTADOS

Foram desenvolvidas três (03) interfaces gráficas interativas destinadas à consolidação e análise dos dados de instrumentação. Essas interfaces permitem a seleção do pacote de contratação da obra, do segmento de localização dos instrumentos, do código do Tratamento de Fundação (TFA), da linha/eixo de implantação e do código individual de cada instrumento. Por meio desses filtros, torna-se possível avaliar tanto um conjunto específico de instrumentos associados a determinado eixo quanto todos os instrumentos de uma mesma região, otimizando a interpretação dos resultados e aumentando a agilidade na análise.

Os gráficos, anteriormente alimentados manualmente via planilhas Excel, passaram a ser atualizados automaticamente, permitindo a visualização e interpretação de instrumentos de forma isolada ou integrada. Essa automatização reduziu significativamente o tempo despendido e o número de etapas necessárias para atualização e validação das informações.

Além disso, a análise gráfica encontra-se integrada à visualização espacial dos instrumentos em planta, o que facilita a correlação entre os dados monitorados e sua posição no empreendimento. Dessa forma, a equipe de engenharia consegue navegar de maneira rápida e intuitiva entre diferentes instrumentos e localidades, superando limitações anteriormente existentes no modelo baseado exclusivamente em planilhas.

Na sequência, são apresentadas as interfaces desenvolvidas para placas de recalque, marcos superficiais e indicadores de nível d'água. As plataformas são atualizadas semanalmente pelas construtoras e analisadas periodicamente pela equipe de engenharia da Rumo e IDG Engenharia, garantindo maior confiabilidade e eficiência no acompanhamento do comportamento geotécnico da obra.

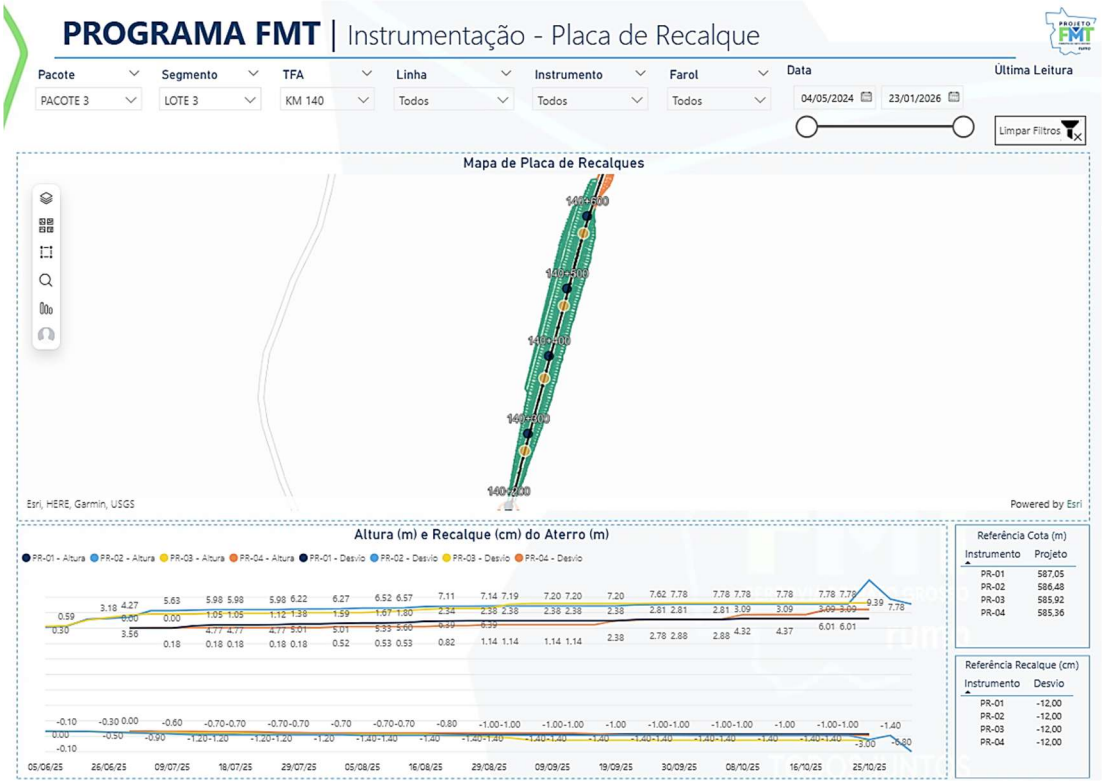


Figura 3. Instrumentação – Placa de Recalque.

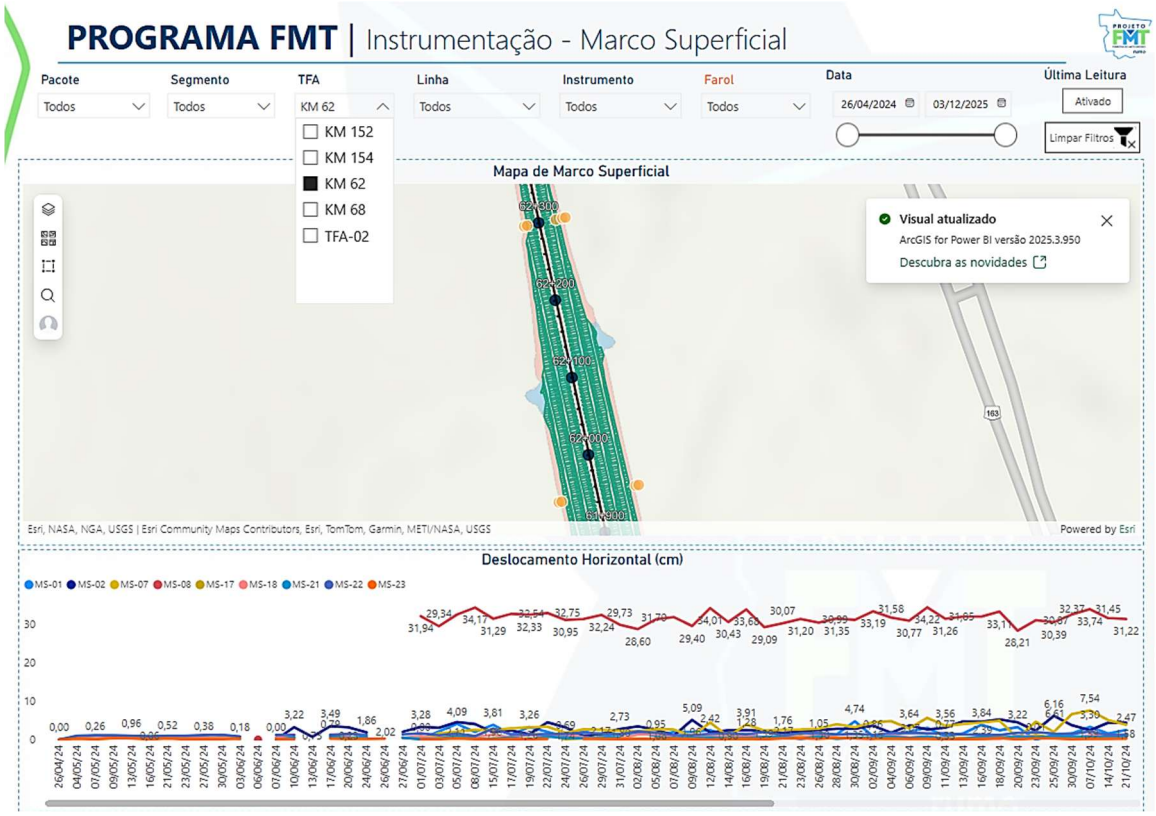


Figura 4. Instrumentação - Marco Superficial.

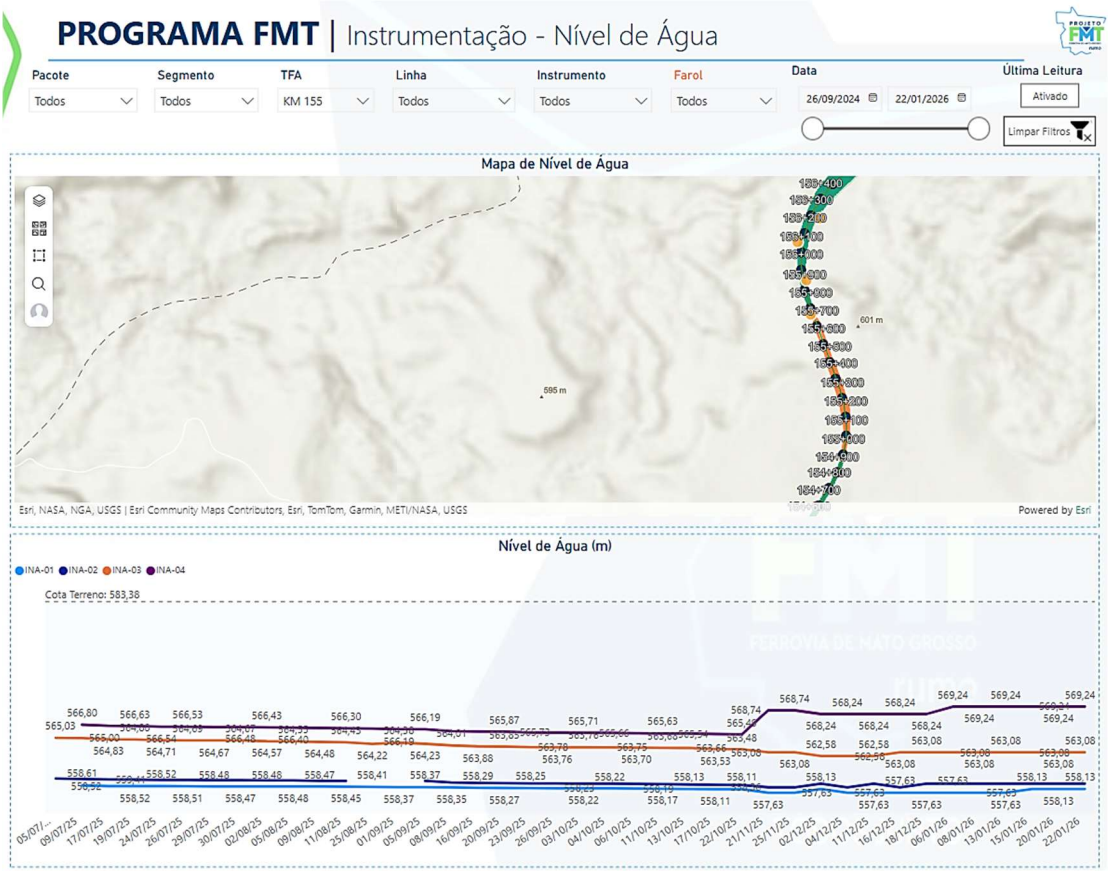


Figura 5. Instrumentação – Indicador de nível de água.

Além da visualização gráfica, a interface disponibiliza informações detalhadas de cada instrumento. Como exemplificado na Figura 6, para as placas de recalque são apresentados parâmetros como: cota atual do aterro, altura do aterro, data de prolongamento da haste, recalque de projeto, recalque observado, percentual de recalque (considerando 100% como o recalque máximo previsto), percentual de alteamento do aterro (considerando 100% como o alteamento máximo de projeto) e recalque diário.

Adicionalmente, a interface possui um campo de farol de acompanhamento, responsável por sinalizar automaticamente leituras que apresentem comportamento divergente do previsto em projeto. Na Figura 6, observa-se a ocorrência de instrumentos que registraram recalques significativamente superior à previsibilidade de projeto, resultando na emissão de alerta e demandando avaliações complementares pela equipe de engenharia nas respectivas localidades.

Dados das Leituras

Ordem	KM	TFA	Linha	Instrumento	Data Leitura	Cota Proj Aterro	Cota do Aterro	Altura do Aterro (m)	Cota PR	Prolong Haste	Recalque Proj (cm)	Recalque (cm)	% Recalque	% Aterro	Recalque Diário	Farol Recalque
304	51+860	KM 51	LINHA CC	PR-01	26/08/25	292,20	292,30	3,85	293,94		-3,00	-4,56	152,00%	100,04%	-0,10	Alerta
1105	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	19/05/25	589,22	587,07	6,30	588,32		-12,00	-19,00	158,33%	99,64%	-0,22	Alerta
1106	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	20/05/25	589,22	588,26	7,49	589,81	589,81	-12,00	-19,00	158,33%	99,84%	0,00	Alerta
1107	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	24/05/25	589,22	588,29	7,52	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	99,84%	-0,37	Alerta
1108	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	27/05/25	589,22	588,76	7,99	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	99,92%	0,00	Alerta
1109	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	28/05/25	589,22	588,81	8,04	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	99,93%	0,00	Alerta
1110	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	30/05/25	589,22	588,81	8,04	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	99,93%	0,00	Alerta
1111	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	05/06/25	589,22	589,01	8,24	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	99,97%	0,00	Alerta
1112	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	09/06/25	589,22	589,20	8,43	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	100,00%	0,00	Alerta
1113	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	14/06/25	589,22	589,23	8,46	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	100,00%	0,00	Alerta
1114	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	26/06/25	589,22	589,23	8,46	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	100,00%	0,00	Alerta
1115	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	02/07/25	589,22	589,19	8,42	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	100,00%	0,00	Alerta
1116	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	05/07/25	589,22	589,19	8,42	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	99,99%	0,00	Alerta
1117	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	09/07/25	589,22	589,18	8,41	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	99,99%	0,00	Alerta
1118	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	17/07/25	589,22	589,19	8,42	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	100,00%	0,00	Alerta
1119	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	19/07/25	589,22	589,19	8,42	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	100,00%	0,00	Alerta
1120	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	24/07/25	589,22	589,19	8,42	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	100,00%	0,00	Alerta
1121	152+850	KM 152	KM 152+850	PR-02	26/07/25	589,22	589,19	8,42	589,80		-12,00	-20,50	170,83%	100,00%	0,00	Alerta

Figura 6. Instrumentação – Placa de recalque – Dados detalhados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do painel de monitoramento geotécnico em *Power BI* representou uma mudança de paradigma na gestão da Ferrovia Estadual de Mato Grosso. A transição do controle manual e descentralizado em planilhas para um ecossistema de *Business Intelligence* permitiu a redução drástica do tempo de resposta entre a leitura de campo e a tomada de decisão técnica. A automação das métricas em linguagem DAX e a integração geoespacial via ArcGIS garantiram que desvios de comportamento, como velocidades de recalque excessivas ou níveis freáticos críticos, fossem identificados visualmente de forma imediata através do sistema de alertas (faróis).

Além do ganho de produtividade para a equipe de engenharia, a centralização do histórico em um modelo de dados estruturado viabilizou *insights* retroalimentadores para o projeto executivo de trechos adjacentes. Como perspectiva futura, o grupo de trabalho vislumbra a implementação de algoritmos de *Machine Learning* integrados à base de dados consolidada. O objetivo é transitar de um modelo de monitoramento reativo para um preditivo, onde modelos de regressão e redes neurais possam estimar, com base no histórico de leituras e características do solo, o risco probabilístico de colapso ou instabilidade de aterros, elevando ainda mais os padrões de segurança operacional da infraestrutura ferroviária.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à IDG Engenharia e a Rumo S.A. pelo suporte para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. S. S.; Marques, M. E. S. (2010) *Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho*, 1 ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 256 p.

Ferreira, J., Mirranda, M., Abelha, A., Machado, J. (2010) *O Processo ETL em sistemas data warehouse*. In: INForum II Simpósio de Informática, Braga, Portugal. v. 1, p. 757-765.

Kopecký, M., Ondrášik, M., Brček, M. (2020) *Remediation and monitoring of unstable slope of railway cut*. In: 5th World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium – WMCAUS, Praga, Tchéquia. v. 960, p. 10.

Kirmani, M. M. (2017) *Dimensional Modeling using star schema for data warehouse creation*. In: Oriental Journal of Computer Science and Technology, Srinagar, India. v. 10, p. 10.