DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.1/61

Soluções de Engenharia e Monitoramento nas Barragens do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF)

Jaqueline do Carmo Ferreira Resque
Especialista em Recursos Minerais, Agência Nacional de Mineração (ANM), Brasília, Brasil, jack.resque@gmail.com

André do Carmo Ferreira
Gerente de Projetos, Arcadis, São Paulo, Brasil, andre.ferreira@arcadis.com

Alexandre Menezes Resque de Oliveira
Engenheiro Civil Sênior, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Brasília, Brasil, alexandre.menezes@dnit.gov.br

RESUMO: O Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) é um dos maiores empreendimentos hídricos do Brasil e tem como principal objetivo garantir segurança hídrica para regiões historicamente afetadas pela escassez de água no nordeste brasileiro.
No total, 36 barragens formam os 27 reservatórios que integram os eixos Norte e Leste do PISF. Devido a extensa área de implantação, às diferenças geológico-geotécnicas e às diversas condições ambientais encontradas ao longo do traçado, as barragens apresentam soluções de engenharia variadas. Assim, as seções típicas foram adaptadas conforme os materiais disponíveis, às particularidades de cada local e aos requisitos operacionais previstos. A disponibilidade dos materiais nas jazidas foi determinante para a definição dessas soluções, garantindo viabilidade técnica e construtiva ao longo de todo o projeto.
Para monitoramento da instrumentação e a organização das informações de operação, foi criado um site, para que fosse possível acompanhar o desempenho das estruturas para apoiar decisões técnicas necessárias.
Este artigo apresenta uma visão geral das barragens do Projeto de Integração do Rio São Francisco e dos principais elementos relacionados às soluções geotécnicas adotadas. Serão abordas as informações sobre os 36 barramentos, incluindo dados sobre as seções típicas adotadas, o sistema de drenagem interna, os tratamentos de fundação realizados, as jazidas utilizadas, o plano de enchimento, o plano de segurança de barragens, o monitoramento da instrumentação e as principais lições aprendidas ao longo da implantação e operação inicial do projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto de integração do Rio São Francisco (PISF), barragens, drenagem interna, tratamento de fundação, plano de segurança de barragens

ABSTRACT: The São Francisco River Integration Project (PISF) is one of Brazil's largest water infrastructure projects, with the primary objective of ensuring water security for regions in the Brazilian Northeast historically affected by water scarcity.
In total, 36 dams form the 27 reservoirs that make up the North and East Branches of the PISF. Due to the extensive project area, the geological–geotechnical variability, and the diverse environmental conditions encountered along the alignment, the dams incorporate a wide range of engineering solutions. Consequently, the typical cross-sections were adapted according to the materials available, the specific characteristics of each site, and the operational requirements of the system. The availability of materials in the borrow areas was a decisive factor in defining these solutions, ensuring technical and construction feasibility throughout the entire project.
To support instrumentation monitoring and streamline operational data management, a dedicated website was developed, enabling continuous tracking of structural performance to assist in technical decision-making.
This article provides an overview of the PISF dam system and its key geotechnical design components. It addresses information on the 36 hydraulic structures, including data on the adopted typical sections, internal drainage systems, foundation treatment measures, borrow areas utilized, reservoir impoundment plan, dam safety plan, instrumentation monitoring, and the main lessons learned during project implementation and initial operation

KEYWORDS: São Francisco River Integration Project (PISF); Dams; Internal drainage; Foundation treatment; Dam Safety Plan.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do PISF

O Projeto de Integração do São Francisco (PISF) baseia-se na promoção da integração hídrica entre a bacia do Rio São Francisco e diversas bacias intermitentes do semiárido nordestino, com o objetivo de garantir o abastecimento perene de água para usos múltiplos, especialmente a dessedentação animal e o abastecimento humano das populações nas regiões de influência. O projeto atravessa os estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte.

O sistema é composto pelos Eixos Norte e Leste, que integram um conjunto complexo de obras hidráulicas e de infraestrutura, incluindo captação no Rio São Francisco, estações de bombeamento, canais, aquedutos, túneis e barragens, responsáveis pela regularização das vazões e pela segurança operacional do sistema. Na Figura 1 é possível verificar a localização dos Eixos Norte e Leste do PISF.

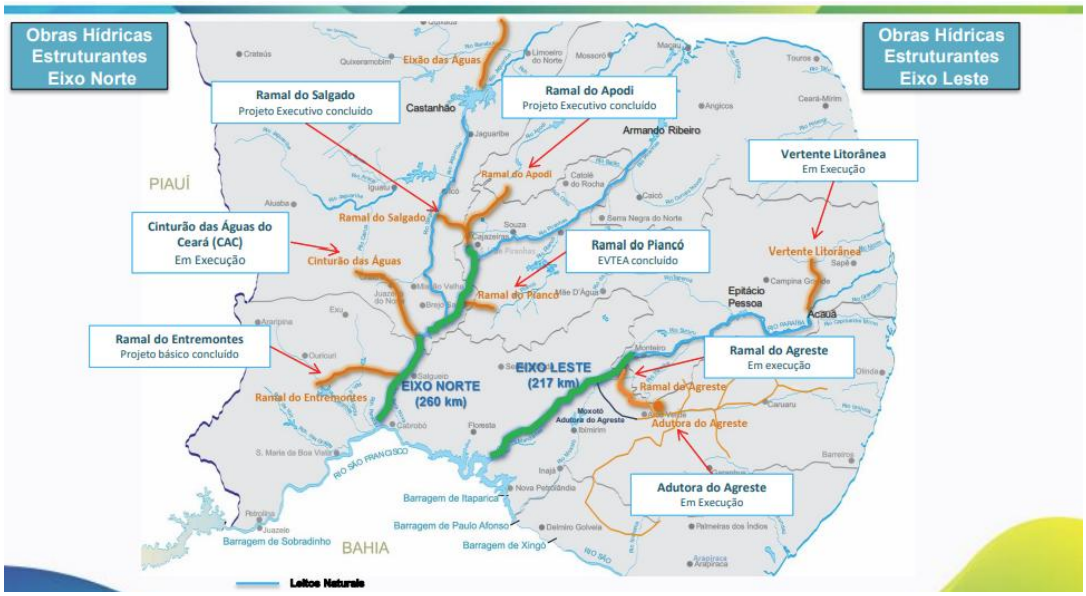


Figura 1. Localização do Projeto de Integração do Rio São Francisco – Apresentação da Secretaria Nacional de Segurança Hídrica, 2019.

1.2 Barragens e Reservatórios

Os Eixos Norte e Leste do PISF possuem 27 reservatórios, sendo 15 localizados no Eixo Norte (Tucutu, Terra Nova, Serra do Livramento, Mangueira, Negreiros, Milagres, Jati, Atalho, Porcos, Cana Brava, Cipó, Boi, Morros, Boa Vista e Caiçara) e 12 no Eixo Leste (Areias, Braúnas, Mandantes, Salgueiro, Muquém, Cacimba Nova, Bagres, Copiti, Moxotó, Barreiro, Campos e Barro Branco). Alguns reservatórios contam com mais de um barramento para o fechamento do lago, dessa forma, para a formação dos 15 reservatórios do Eixo Norte foram implantados 23 barramentos, enquanto no Eixo Leste foram executados 13 barramentos. A concepção das barragens contempla estruturas de terra homogênea, mista (enrocamento, conglomerado ou solo saprolítico nos espaldares + núcleo argiloso) ou zonada, além de estruturas em CCR (concreto compactado a rolo).

Os reservatórios formados pelos barramentos têm como finalidade o abastecimento humano, a irrigação e outros usos múltiplos da água. Os pontos de entrega e as respectivas vazões são definidos no Plano de Gestão Anual (PGA), elaborado pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) e aprovado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

1.3 Seções Típicas

As barragens do PISF apresentam seções típicas em terra homogênea, mistas (enrocamento, conglomerado ou solo saprolítico nos espaldares + núcleo argiloso) ou zonadas, além de estruturas em concreto compactado a rolo (CCR). A definição da geometria e da tipologia dessas estruturas foi orientada pelas condições geológico-geotécnicas locais, pela disponibilidade de materiais nas jazidas e pelas exigências hidráulicas e operacionais de cada reservatório.

De modo geral, as barragens zonadas são constituídas por núcleo argiloso de baixa permeabilidade, envolto por zonas de transição e filtros granulares, além de maciços de suporte formados por enrocamento. Já as barragens homogêneas utilizam solo compactado, complementadas por sistemas de drenagem interna, como drenos verticais e horizontais.

2 SOLUÇÕES DE ENGENHARIA ADOTADAS

2.1 Eixo Norte

Conforme já mencionado, no Eixo Norte foram executados 23 barramentos para a formação dos 15 reservatórios. O reservatório de Negreiros possui dois diques (Dique Canal 1217 e Dique Negreiros), além do barramento principal. Os reservatórios Milagres, Jati e Boa Vista contam com um dique adicional cada (Dique Milagres, Dique Jati e Dique Pereiros, respectivamente), enquanto o reservatório de Boi é formado por dois barramentos, Boi I e Boi II, separados por seu vertedouro. Para a barragem de Porcos, foram considerados neste artigo três dos cinco barramentos executados: Porcos Margem Esquerda, Porcos Margem Direita e Vertedouro de Porcos. Na Tabela 1 as barragens foram organizadas de acordo com a seção típica de cada estrutura.

Tabela 1. Barragens do Eixo Norte do PISF - Classificação por seção típica.

Terra Homogênea (7 barragens)	Mista (enrocamento com núcleo argiloso) ou Zonada (14 barragens)	CCR (2 barragens)
Tucutu; Terra Nova; Atalho; Porcos Margem Esquerda; Cana Brava; Boi I e Boi II (com espaldar de jusante em enrocamento).	Serra do Livramento; Mangueira; Dique Canal 1217; Dique Negreiros; Milagres; Dique Milagres; Barragem Jati; Dique Jati; Porcos Margem Direita; Cipó; Morros; Boa Vista; Dique Pereiros e Caiçara	Barragem Negreiros e Vertedouro de Porcos

As fundações das barragens do Eixo Norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco apresentam elevada variabilidade geológico-geotécnica, abrangendo desde maciços rochosos competentes até perfis de solos residuais e materiais aluvionares. Essa heterogeneidade condicionou a adoção de diferentes soluções de tratamento de fundação. De modo geral, os tratamentos envolveram a remoção de materiais moles ou inadequados, regularização das superfícies de apoio, execução de trincheiras de vedação (cut-off), execução de tapetes impermeabilizantes com e sem a utilização de geomembranas, além da implantação de colchões drenantes e sistemas de drenagem para controle da percolação. Em trechos com fundação rochosa, foram adotadas soluções de limpeza, tratamento de descontinuidades e, quando necessário, execução de cortinas de injeção para redução da permeabilidade.

Para a ilustração das seções típicas implementadas nas obras do Eixo Norte do PISF, foram destacas nas figuras a seguir, barragens representativas de cada tipologia que apresentam alguma peculiaridade.

Na Figura 1 e na Figura 2 estão apresentadas, respectivamente, a seção tipo e a seção longitudinal da barragem Terra Nova. Para redução das percolações pela fundação foi realizado tape impermeabilizante em solo compactado a montante da barragem. Na seção de jusante, foram implantados espigões de enrocamento com o objetivo de reduzir a velocidade do escoamento do riacho local e evitar processos erosivos no paramento.

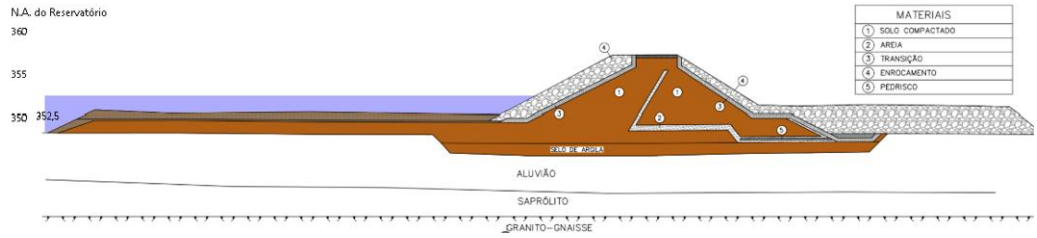


Figura 2. Seção típica da Barragem Terra Nova - Seção Terra Homogênea com tapete impermeabilizante a montante e espigões a jusante.

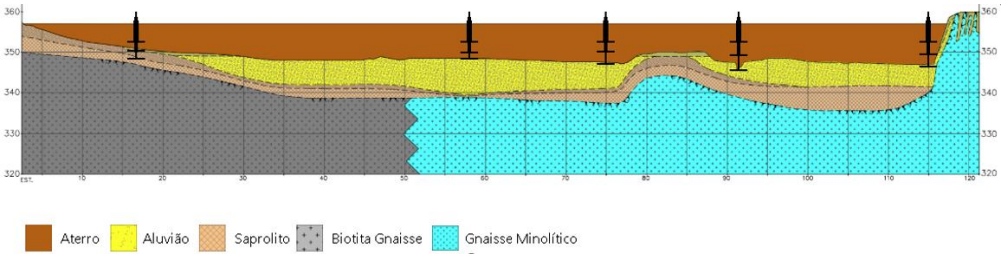


Figura 3. Seção Longitudinal Barragem Terra Nova - Fundação em biotita gnaisse, gnaisse minolítico, saprolito e aluvião.

Para a Barragem de Porcos, foram adotadas três soluções de engenharia distintas, definidas em função sua função de sua finalidade, dos materiais disponíveis e das condições de fundação. Na *Figura 4*, são apresentas as seções típicas das margens direita e esquerda, respectivamente. Na sequência, a *Figura 5* apesenta a seção longitudinal da fundação da barragem, na qual se observa a presença de depósitos de aluvião e colúvio, além de camadas de conglomerado, especialmente na margem esquerda. Essas condições indicaram a necessidade de implantação de um tapete impermeabilizante no aterro de montante, com a utilização de geomembrana, visando ao controle da percolação. Para a margem direita, em função das condições geotécnicas mais favoráveis, este tipo de tratamento não se mostrou necessário, contudo, a solução do barramento foi adaptada às condições locais.

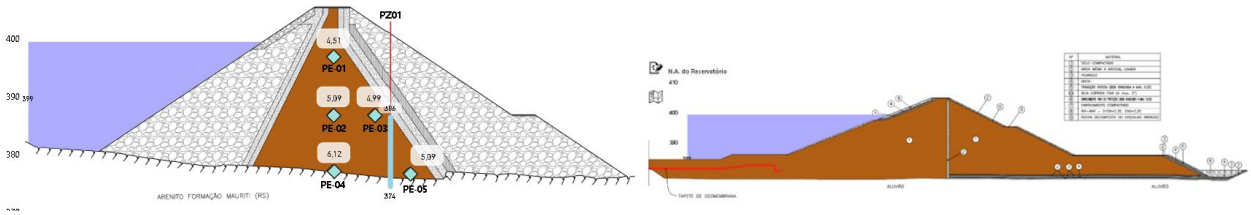


Figura 4. Seção Típica da Margem Direita e Esquerda da Barragem de Porcos.

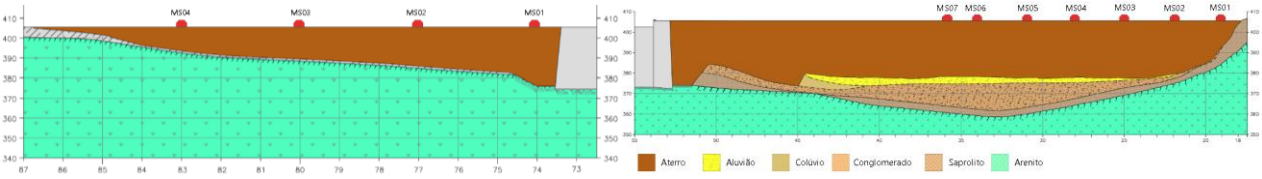


Figura 5. Seção longitudinal da Margem Direita e da Margem Esquerda da Barragem de Porcos.

Para o fechamento do reservatório Negreiros, foram executados um barramento principal em CCR, denominado Barragem Negreiros, e dois diques, denominados Dique Canal 1217 e Dique Negreiros. Os diques foram executados em seção mista, com núcleo em material argiloso e espaldares em enrocamento. Na Figura 6, estão apresentadas a imagem do Google Earth (29/05/2025), com a identificação das estruturas citadas, e a seção típica da Barragem de Negreiros em CCR. Na Figura 7, é apresentada a seção típica dos diques. Em todas as estruturas foi necessária a realização de cortinas de injeção para redução das percolações pela fundação.

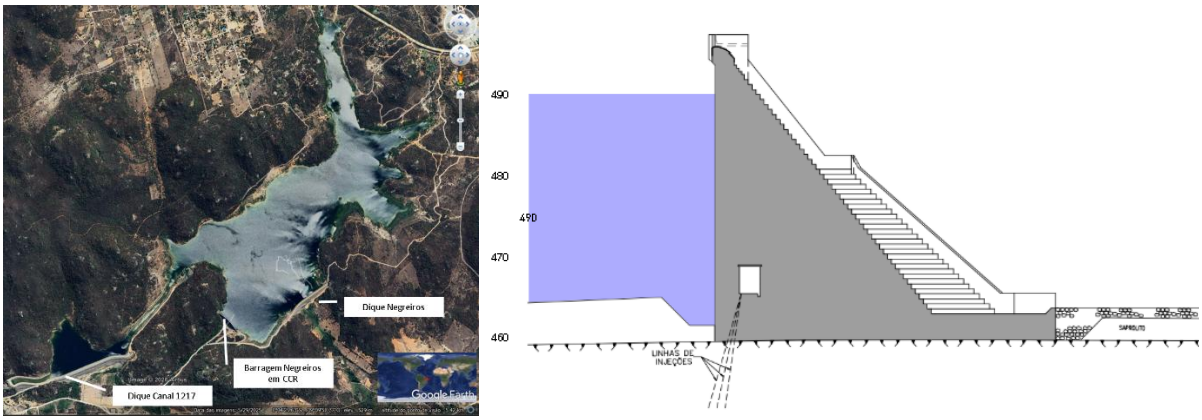


Figura 6. Localização da Barragem Negreiros e seus Diques Canal 1217 e Negreiros e Seção típica da Barragem Negreiros em CCR.

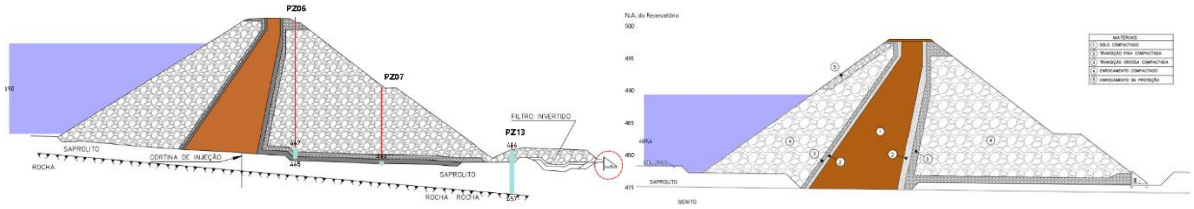


Figura 7. Seção Típica do Dique Canal 1217 e do Dique Negreiros

2.2 Eixo Leste

No Eixo Leste foram executados 13 barramentos para a formação dos 12 reservatórios. Apenas no reservatório de Bagres foi executado um dique além do barramento principal. A seção típica predominante foi a seção de terra homogênea, havendo também casos de seção mista (enrocamento, conglomerado ou solo saprolítico nos espaldares + núcleo argiloso) ou zonada. Na Tabela 2 as barragens foram organizadas de acordo com a seção típica de cada estrutura.

Tabela 2. Barragens do Eixo Leste do PISF - Classificação por seção típica

Terra Homogênea (9 barragens)	Mista ou Zonada (3 barragens)	CCR (1 vertedouro)
Areias; Mandantes; Salgueiro; Muquém; Bagres; Copiti; Barreiro; Campos e Barro Branco.	Braúnas (conglomerado com núcleo argiloso), Cacimba Nova e Moxotó (solo saprolítico + núcleo argiloso + espaldar de jusante de enrocamento).	Barragem Muquém.

Da mesma forma que no Eixo Norte, as fundações das barragens do Eixo Leste do PISF também são caracterizadas por significativa variabilidade geológico-geotécnica, envolvendo desde maciços rochosos relativamente competentes até perfis de solos residuais e depósitos aluvionares. Os tratamentos também envolveram a remoção de materiais inadequados, regularização das superfícies de apoio e execução de trincheiras de vedação (cut-off), visando ao controle da percolação pela fundação. Em áreas com presença de solos mais permeáveis, foram implantados tapetes impermeabilizantes e sistemas de drenagem para redução dos gradientes hidráulicos. Já em fundações rochosas, adotaram-se procedimentos de limpeza, tratamento de descontinuidades e, quando necessário, execução de cortinas de injeção para redução da permeabilidade.

Para a ilustração das seções típicas implementadas nas obras do Eixo Leste do PISF, foram destacas nas figuras a seguir, barragens representativas de cada tipologia que apresentam alguma peculiaridade.

Na Figura 8 estão apresentadas, respectivamente, a seção típica e a seção longitudinal da fundação da Barragem Mandantes, na qual todo o material do aterro foi executado com conglomerado compactado. Em sua fundação, foi executado *cut-off* para redução da percolação e, na saída da drenagem interna, foi implantado um dreno de pé com transição granulométrica entre os materiais.

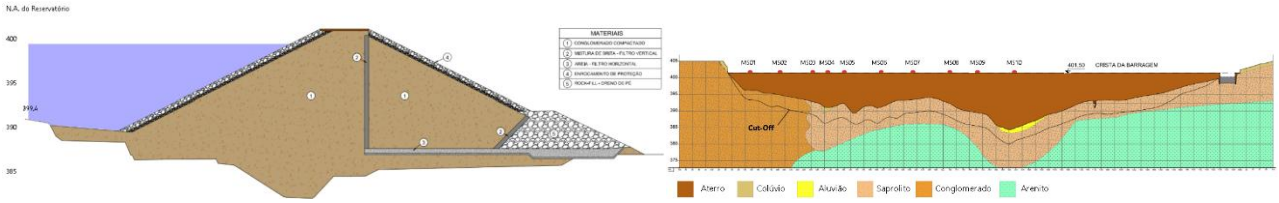


Figura 8. Seção típica da Barragem Mandantes e Seção Longitudinal da Fundação.

Para a Barragem Cacimba Nova, a concepção da seção típica é do tipo mista, na qual a maior parte do aterro foi executado com solo compactado. Adicionalmente foram implantados drenos de pé tanto a montante quanto a jusante da barragem, considerando a presença de um riacho a jusante, o que pode favorecer a ocorrência de fluxo através do barramento em ambos os sentidos. Em situações de paralisação do sistema, nas quais a cota do reservatório se torne inferior à cota do riacho a jusante, pode ocorrer inversão do gradiente hidráulico, resultando em fluxo através do corpo da barragem no sentido de jusante-montante. Na Figura 9 e na Figura 10 estão apresentadas, respectivamente, a seção tipo e a seção longitudinal da barragem Terra Nova.

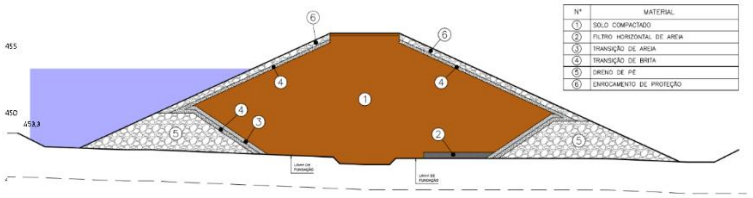


Figura 9. Seção típica da Barragem Cacimba Nova

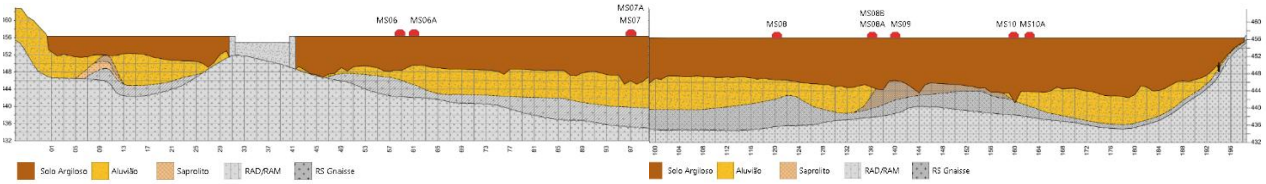


Figura 10. Seção longitudinal da fundação da Barragem Cacimba Nova.

Para a Barragem Muquém, a seção típica é de terra homogênea, sendo o vertedouro incorporado ao corpo da barragem e executado em CCR. Na Figura 11 estão apresentadas, respectivamente, a seção tipo e a seção longitudinal da Barragem Muquém. Para redução da percolação pela fundação, foi executado *cut-off* no trecho em aterro compactado e realizadas injeções no maciço de fundação na região de contato com a estrutura em CCR.

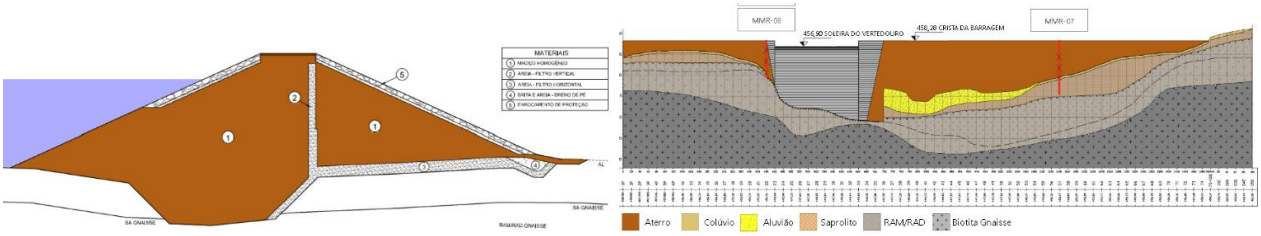


Figura 11. Barragem de Muquém. Seção típica e perfil longitudinal da fundação da barragem.

3 PLANO DE ENCHIMENTO DOS RESERVATÓRIOS

O plano de enchimento das barragens do PISF foi concebido para promover o aumento gradual dos níveis d'água, de forma controlada, garantindo a verificação do comportamento estrutural e hidráulico das obras. O processo foi conduzido em etapas, com patamares de enchimento previamente definidos, associados ao monitoramento contínuo da instrumentação e à realização de inspeções de segurança.

4 MONITORAMENTO E GESTÃO DA INFORMAÇÃO

Para o gerenciamento das barragens implantadas ao longo dos eixos Norte e Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), foi desenvolvida, pelo consórcio formado pelas empresas Concremat Engenharia e Tecnologia e Arcadis, por solicitação do Ministério do Desenvolvimento Regional, a Plataforma de Gerenciamento de Barragens. Esse portal foi desenvolvido no âmbito do contrato de gerenciamento do PISF, com o objetivo de centralizar, organizar e disponibilizar informações técnicas, operacionais e documentais relacionadas às estruturas, apoiando as atividades de operação, monitoramento e tomada de decisão (Figura *12*).

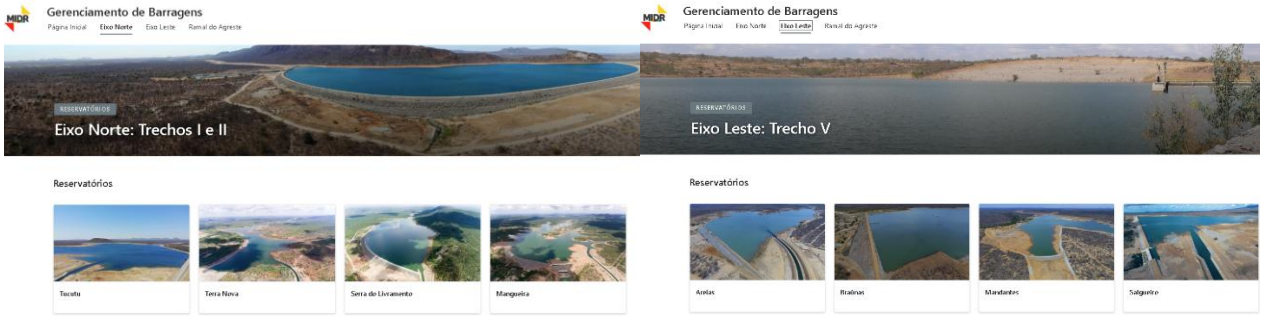


Figura 12. Portal de Gerenciamento de Barragens do PISF (https://integracao.sharepoint.com/sites/pisf-barragens - acesso restrito).

Integrada ao ambiente de Gerenciamento Eletrônico de Documentos (GED) do projeto, a plataforma reuniu dados sobre características das barragens, registros de inspeções de segurança, informações contratuais, atividades de operação, resultados de monitoramento da instrumentação e toda documentação referente ao Plano de Segurança de Barragens (PSB) (Figura *13*).



Figura 13. Dados gerais da plataforma de gerenciamento das barragens do PISF.

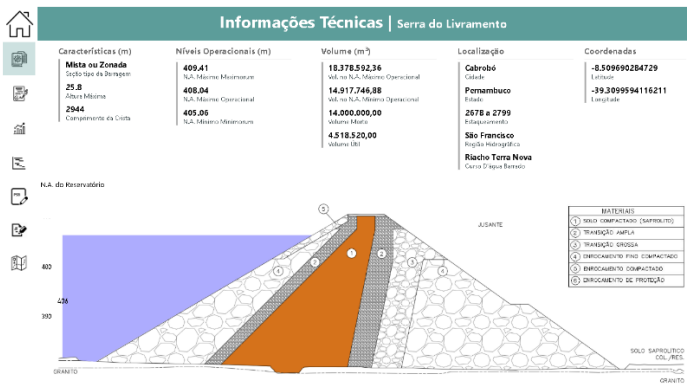


Figura 14. Informações técnicas padronizados - Plataforma de Gerenciamento das Barragens do PISF.

Entre os instrumentos instalados destacam-se piezômetros Casagrande e elétricos, utilizados para monitoramento das pressões neutras no interior dos maciços e nas fundações, medidores de vazão, a fim de

possibilitar o acompanhamento do regime de percolação da drenagem interna, marcos superficiais, inclinômetros e placas destinados ao controle de deslocamentos e recalques. Em algumas estruturas também foram implantados dispositivos adicionais de monitoramento, como medidores triortogonais nas barragens em CCR, adequados às características específicas de cada barragem e condições geotécnicas locais.

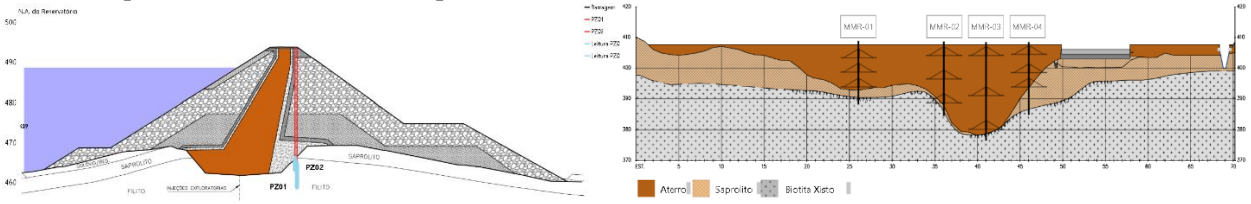


Figura 15. Monitoramento da Instrumentação. Padrão de apresentação das leituras dos Piezômetros e representação dos Medidores de Recalque.

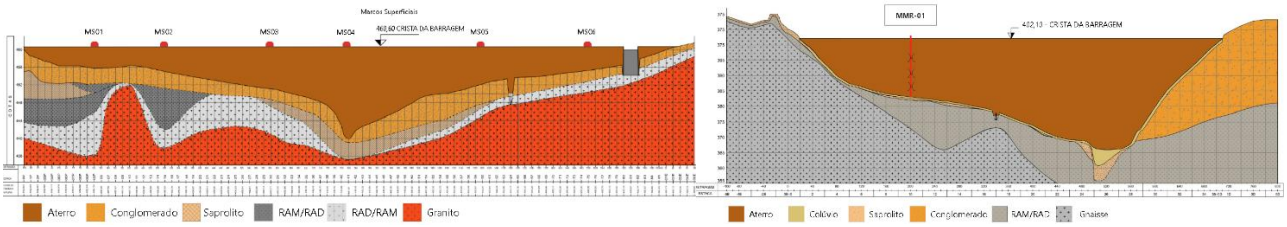


Figura 16. Monitoramento da Instrumentação. Padrão de representação dos marcos superficiais e medidores de recalque tipo aranha.

Os dados coletados periodicamente, provenientes da leitura dos instrumentos podiam ser analisados em conjunto com as inspeções de segurança realizadas em campo, permitindo a identificação de tendências de comportamento e a verificação da conformidade com os parâmetros previstos em projeto. Essas informações são registradas e organizadas no sistema de gerenciamento das barragens, possibilitando rastreabilidade, armazenamento histórico e apoio às atividades de operação, manutenção e gestão da segurança das estruturas ao longo da vida útil do empreendimento. O sistema também permitia o armazenamento estruturado de documentos técnicos e relatórios, facilitando o acesso às informações por diferentes usuários envolvidos na gestão do empreendimento, incluindo o empreendedor, equipes de operação, gerenciadoras e órgãos de fiscalização. A plataforma dispõe ainda de ferramentas de visualização e análise, como dashboards interativos e mapas georreferenciados, que permitem acompanhar o estado das barragens e sua classificação quanto ao Nível de Perigo Global da Barragem (NPGB), com base nas inspeções de segurança realizadas. Por meio de filtros e consultas, os usuários podem acessar informações por trecho do projeto, eixo estruturante ou por reservatório, possibilitando uma visão integrada das estruturas.

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, à Concremat Engenharia e à Arcadis Engenharia, pela disponibilização das informações utilizadas neste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2026). Plano de Gestão Anual – PGA referente ao ano de 2026 para o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - PISF. Portaria Normativa ANA Nº 550, de 14 novembro de 2025 (https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/pisf/plano-de-gestao-anual).

SNSH/MDR (2019). Apresentação da Secretaria Nacional de Segurança Hídrica na Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES (https://abes-es.org.br/wp-content/uploads/2019/10/Mesa-Transposi%C3%A7%C3%A3o-do-Rio-S%C3%A3o-Francisco-Sonho-e-Realidade.pdf).

Portal de Gerenciamento de Barragens do PISF (https://integracao.sharepoint.com/sites/pisf-barragens - acesso restrito).