

Plataforma de convergência tecnológica para operação otimizada da UHE Jirau

Mateus G Santos* Lenio O. Prado Jr.* José V. Bernardes Jr.**
Thiago M. de Abreu** Dannilo S. S. Miranda* José R. C. Milanez*
Marcelo O. Fonseca*** Edson C. Bortoni** Guilherme S. Bastos*

* *Instituto de Engenharia de Sistemas e Tecnologia da Informação,
Universidade Federal de Itajubá, MG, (e-mails:
mateus.gabriel@unifei.edu.br, lenio@unifei.edu.br,
dannilo@unifei.edu.br, jrsmilanez@unifei.edu.br, sousa@unifei.edu.br).*

** *Instituto de Sistemas Elétricos e de Energia, Universidade Federal
de Itajubá, MG, (e-mails: jusevitor@unifei.edu.br,
thiago.abreu@unifei.edu.br, bortoni@unifei.edu.br).*

*** *Gerência de Operação, Jirau Energia, RO, (e-mail:
marcelo.fonseca@jirauenergia.com.br).*

Abstract: The operation of hydroelectric power plants is directly dependent on data from various systems. These systems are classified as Operational Technologies (OT) when focused on field-level control and Information Technologies (IT) when aimed at enterprise-level applications. The efficient integration of these systems is a challenge for industries since each system type has different perspectives and objectives. However, this integration is crucial to achieving the best possible operational performance. In the hydroelectric power generation market, there is often a lack of applications that can successfully integrate and analyze data from IT and OT systems, transforming it into useful information for operation. This often results in manual activities to collect and analyze data, reducing their effectiveness. This article presents an architecture for the integration of IT/OT systems, focusing on the hydroelectric power generation market, and discusses its implementation and results at the Jirau Hydroelectric Plant.

Resumo: A operação de usinas hidrelétricas está diretamente ligada a dados provenientes de vários sistemas. Esses sistemas são classificados como Tecnologias Operacionais (TA) quando focados no controle em nível de campo, e Tecnologias da Informação (TI) quando voltados para aplicações em nível empresarial. A integração eficiente desses sistemas é um desafio para as indústrias, pois cada tipo de sistema possui perspectivas e objetivos diferentes. No entanto, essa integração é crucial para alcançar o melhor desempenho operacional possível. No mercado de geração de energia hidrelétrica, é comum a falta de aplicativos que possam integrar e analisar com sucesso os dados provenientes dos sistemas de TI e TA, transformando-os em informações úteis para a operação. Isso muitas vezes resulta em atividades manuais para coletar e analisar dados, reduzindo sua eficácia. Este artigo apresenta uma arquitetura para integração de sistemas de TI/TA, focada no mercado de geração hidrelétrica, e discute sua implementação e resultados na Usina Hidrelétrica de Jirau.

Keywords: Technological convergence; Optimization; Operation; Hydroelectric power plants; Efficiency.

Palavras-chaves: Convergência tecnológica; Otimização; Operação; Usinas Hidrelétricas; Eficiência.

1. INTRODUÇÃO

A operação eficiente de usinas hidrelétricas (UHEs) requer o uso e a análise de informações relacionadas aos cenários hidrológicos da bacia onde ela está instalada, tais como vazão, queda, nível, etc. Essas informações são essenciais para prever a geração de energia e também devem ser consideradas no planejamento da manutenção dos ativos. Além disso, os operadores das UHEs devem monitorar os ativos e as condições de seus processos, além dos dados operacionais, para garantir o cumprimento da geração prevista. Eles também devem registrar de forma

* Este trabalho foi financiado e desenvolvido sob o programa de P&D da Jirau Energia, regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, através do projeto "Otimização da Operação de Usinas Hidrelétricas Através da Minimização das Perdas no Processo de Geração (PD-06631-0011/2020)"

**O termo "Tecnologias Operacionais" é a tradução explícita de "Operations Technology", no entanto, a indústria brasileira costumemente utiliza "Tecnologias de Automação"(TA), por isso decidiu-se pela utilização da sigla TA neste trabalho.

adequada as atividades de gestão e manutenção dos ativos para comprovar a confiabilidade do sistema. Para lidar com todas essas informações, as UHEs geralmente utilizam várias aplicações, gerenciadas por equipes diferentes, cada uma com suas próprias complexidades e parâmetros específicos. Por exemplo, os dados operacionais são normalmente gerenciados por sistemas SCADA, que devem interagir com os sensores e atuadores da planta usando diferentes protocolos de rede. Ao mesmo tempo, as previsões hidrológicas e de geração são geralmente gerenciadas em aplicações especializadas e armazenadas em bancos de dados relacionais.

Além das informações convencionais de operação das UHEs, há uma camada adicional de complexidade e novas fontes de informação quando o despacho da usina é definido por uma entidade centralizadora: a comunicação entre os sistemas das UHEs e o órgão operador. No Brasil, isso ocorre quando a usina está integrada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), e é necessário haver uma comunicação constante entre os sistemas das UHEs e o Operador Nacional do Sistema (ONS) em relação à geração e ao status dos ativos. O ONS coordena e controla o SIN, com o objetivo de garantir que a geração atenda às necessidades e condições do sistema ao longo do tempo.

Todas essas necessidades resultam na existência de diferentes sistemas ao longo da pirâmide de automação estabelecida após o padrão ISA95. Um modelo hierárquico funcional simplificado foi discutido em Scholten (2007) e adaptando-o para os sistemas de UHEs resulta no diagrama apresentado na figura 1, os níveis 0, 1 e 2 abrangem sistemas de dados operacionais, como sensores, motores, atuadores e sistemas SCADA. O nível 3 consiste em sistemas de gerenciamento de operações, como gerenciamento de manutenção e planejamento de geração de curto prazo. Por fim, os sistemas do nível 4 estão relacionados ao planejamento de geração de longo prazo e ao planejamento comercial, logística de manutenção, análise de riscos, etc. Comumente, os sistemas do nível 3 e acima são referidos como Tecnologias da Informação (TI), enquanto os sistemas nos níveis inferiores são referidos como Tecnologias Operacionais (TA).

É necessário ter meios de integrar os dados desses diferentes sistemas para uma avaliação adequada das condições de operação. Portanto, a convergência entre os sistemas de TI e TA para fornecer análise avançada de dados e informações aprimoradas leva a uma tomada de decisão melhorada.

Essa integração tem sido amplamente discutida recentemente, à medida que melhores algoritmos e técnicas de análise de dados têm sido desenvolvidos. Segundo Agarwal and Brem (2015), organizações dos mais diversos setores esperam se beneficiar de várias formas com essa convergência, como: aumento da produtividade, redução de custos e inteligência em tempo real. Por exemplo, Lipnicki et al. (2018) descrevem o uso de um banco de testes construído pelo Centro de Pesquisa Corporativa da ABB na Polônia para estudar, analisar e discutir os conceitos e impactos de novos métodos e técnicas que integram TI e TA em relação ao mercado de petróleo e gás.

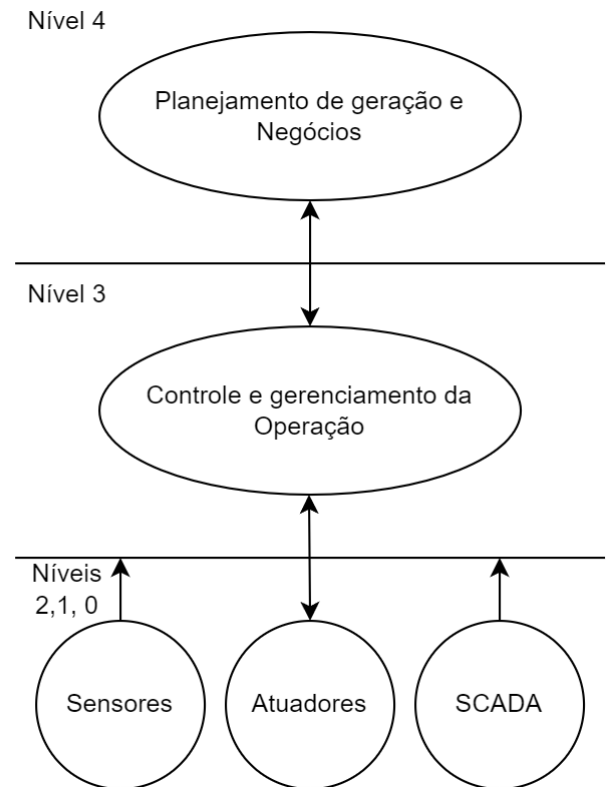


Figura 1. Hierarquia funcional conforme modelo ISA95 adaptado para UHEs

O mercado de energia e serviços públicos também enfrenta desafios na integração de TI e TA. Em Garimella (2018) é descrita a integração em uma empresa de serviços públicos na Índia, apresentando uma solução inovadora para sistemas de gerenciamento de interrupções, integrando os sistemas SAP, SCADA, GIS e AMR/AMI para lidar melhor com consumidores e equipes de manutenção durante eventos de interrupção.

Singh et al. (2022) discutem o "Sistema elétrico 4.0" abordando os impactos que as tecnologias da Indústria 4.0, como a convergência entre TI e TA, podem ter no setor de energia desde a geração até a comercialização da energia, com especial foco na sustentabilidade, e ainda discute potenciais benefícios e desafios para adoção dessas tecnologias no setor.

Outro exemplo da aplicação de técnicas de convergência tecnológica no mercado de serviços públicos é apresentado por Hagner (2016), onde um software desenvolvido pela ABB Power Grids é utilizado para otimizar a transmissão de energia elétrica na Alemanha por meio de uma abordagem de Saúde dos Ativos para o programa de Gerenciamento de Manutenção. Por fim, outro trabalho que discute os impactos da convergência tecnológica na rede elétrica é apresentado por Gadré and Vackerberg (2016), onde a discussão se concentra na taxa de adoção dessas técnicas no mercado de serviços públicos da Suécia.

A maioria da literatura sobre a integração de TI/TA no mercado de energia e serviços públicos concentra-se principalmente nos sistemas de transmissão. A ausência de trabalhos referentes à integração no mercado de geração



Figura 2. Visão panorâmica da UHE Jirau. Fonte: Jirau Energia (2021)

de energia, especificamente no setor de geração de energia hidrelétrica, pode ser justificada ao considerar as complexidades dos negócios das UHEs e seu ambiente. Além disso, há uma falta de ferramentas que integrem adequadamente diferentes sistemas de TI e TA, especialmente em países com gestão centralizada do sistema de energia.

Portanto, este artigo propõe uma arquitetura que permita a integração de sistemas de TI e TA em uma UHE. A arquitetura foi desenvolvida para uma UHE localizada em um sistema de energia regulado. Além dos dados da empresa, a arquitetura também deve ser capaz de fornecer dados para os sistemas da entidade centralizadora. O sistema proposto foi implementado na Usina Hidrelétrica de Jirau, no Brasil, e alguns resultados são discutidos.

2. USINA HIDRELÉTRICA DE JIRAU

A UHE Jirau está localizada na bacia do Rio Madeira, a 100 km, ao longo do rio, de Porto Velho, Rondônia, e possui uma capacidade instalada de 3750 MW, utilizando 50 unidades geradoras de turbina tipo bulbo (UG) de 75 MW cada. Esses números a tornam a quarta maior UHE brasileira em capacidade instalada e a maior do mundo em termos de quantidade de UGs. A UHE é apresentada na Figura 2.

A quantidade de UGs, e conseqüentemente a quantidade de dados coletados a partir delas, apresenta um desafio significativo para a operação, especialmente porque esse número de UGs também resulta em uma quantidade significativa de sistemas e equipamentos complementares. Todos os dados coletados pelos sensores e atuadores na usina são direcionados para um sistema SCADA e armazenados em um banco de dados relacional.

Por outro lado, os dados de manutenção são gerenciados por meio de um sistema ERP que envia informações sobre as atividades para o sistema MES. A aplicação MES usada na usina é chamada de Sistema de Acompanhamento de Usinas (SAU) e é a principal porta de comunicação com o órgão operador do sistema elétrico brasileiro, o ONS. O SAU coleta diferentes dados resultantes da operação, como condição dos ativos e status operacional, dados hidrológicos registrados durante a operação, registro de todos os eventos ocorridos durante o dia, programação de manutenção (seguindo o planejamento do ONS para todo o sistema elétrico brasileiro) e muito mais informações.

Além disso, diferentes sistemas lidam com dados adicionais; as previsões hidrológicas, por exemplo, utilizam dados coletados por sensores ao longo do rio, a montante e a jusante; os dados dos sensores são armazenados em um banco de dados relacional e analisados para calcular as previsões que permitem o planejamento do despacho da usina.

A análise conjunta de dados de diferentes sistemas e a maior parte da comunicação entre as aplicações eram realizadas manualmente por operadores e engenheiros, principalmente utilizando planilhas e e-mails. Essas operações manuais resultam em tarefas que exigem muito tempo e muitas vezes reduzem a eficácia na análise, uma vez que a quantidade de dados é inviável para os seres humanos em restrições de tempo real. Por fim, o planejamento da geração para os próximos dias e o despacho adequado das unidades em tempo real era uma tarefa difícil devido às características do rio (os cursos de água do rio Madeira carregam uma grande quantidade de material que geralmente resulta em perdas de carga nas entradas de água das UGs), além do número de UGs.

Essas dificuldades na programação da geração e no despacho das UGs motivaram os engenheiros de Jirau a buscar uma ferramenta de otimização para as atividades, e essas ferramentas precisam dos dados das diferentes fontes apresentadas acima. Desta forma, este cenário era muito propício para a utilização de ferramentas de convergência tecnológica visando a otimização da operação da planta e seus processos.

3. ARQUITETURA DA PLATAFORMA PARA CONVERGÊNCIA TECNOLÓGICA

O primeiro passo para o desenvolvimento de uma plataforma de convergência tecnológica foi estabelecer os meios para coletar dados da operação facilmente. O sistema SCADA da UHE de Jirau não fornecia de forma eficaz os dados históricos prontamente para análise. Portanto, o software AVEVA Osisoft PI System foi adquirido para lidar melhor com essas questões. O PI System é um sistema para armazenar grandes volumes de informações de forma temporal. É um portfólio de software integrado, que coleta dados de ativos, sensores e dispositivos instalados na UHE, e armazena esses dados com informações de data e hora, permitindo acesso a dados históricos, possibilitando consultas de informações de forma rápida e confiável, mantendo as operações críticas em funcionamento e a equipe de gestão ciente do status atual da UHE. Também é possível consultar os dados por meio do Excel e fornecer um serviço RESTful por meio do qual é possível consumir os dados no formato JSON. Além de armazenar os dados da usina coletados pelos CLPs, o PI System oferece os meios para analisar os dados e criar fórmulas para avaliar expressões e, assim, obter o resultado desejado.

Além do PI System, foi projetada e desenvolvida uma arquitetura modular, onde diversos serviços são realizados. Como as informações da usina estão dispersas em sistemas, arquivos e bancos de dados, a arquitetura oferece mecanismos para integrar os dados, tornando-os acessíveis e disponíveis quando são necessários e no formato esperado pelas aplicações. A Figura 3 apresenta a arquitetura desenvolvida.

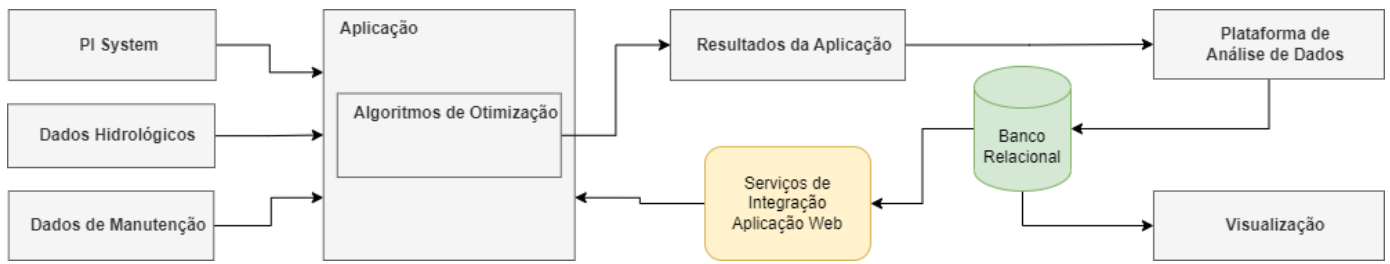


Figura 3. Fluxograma da arquitetura da aplicação

Os dados hidrológicos estão disponíveis no site da Agência Nacional de Águas - ANA, que gerencia a coleta de informações de sensores espalhados ao longo de numerosos rios, bem como dados de chuva, e fornece acesso a esses dados por meio de uma API de onde também é possível consultar dados históricos. Além do site da ANA, o SAU armazena informações hidrológicas coletadas pelos sensores da usina e dados de previsão calculados pelos especialistas da usina. As previsões são armazenadas em arquivos, que são posteriormente importados para os sistemas para serem consumidos pelos funcionários da usina.

O sistema SAU também é utilizado para registrar e monitorar informações de manutenção das UGs e de outros equipamentos da usina. É possível obter dados sobre as manutenções realizadas, um registro descritivo do que foi realizado em cada operação e detalhes da manutenção programada para verificar se tais equipamentos podem ser utilizados para geração durante a fase de planejamento do despacho das UGs. O procedimento de manutenção deve ser comunicado e programado com o ONS, que controla se a operação pode ou não ser realizada. O pedido de manutenção é registrado em um sistema específico do ONS, e a comunicação de aceitação ou rejeição do procedimento é feita por meio de e-mails.

Foram criados módulos independentes para processar todas as informações e integrar todos os serviços desenvolvidos. No entanto, eles se comunicam entre si para tornar a solução mais robusta, facilitar a manutenção e permitir a separação de responsabilidades. Esses módulos estão incluídos no contexto dos serviços da aplicação e compreendem as tarefas diretamente ou indiretamente relacionadas ao algoritmo que realiza a função de comprometimento das unidades. Dentro desses serviços, há um módulo para selecionar as melhores UGs para atender à demanda de geração, o que envolve identificar o status operacional de cada unidade. Para alcançar esse objetivo, o monitoramento do status das UGs desempenha um papel importante.

A análise das perdas de carga desempenha um papel crucial, dado o fato de que na UHE de Jirau, o acúmulo de troncos e sedimentos pode impactar negativamente a geração de energia, uma vez que pode se acumular nas grades de proteção das entradas de água e, assim, reduzir a capacidade de geração. Portanto, identificar a progressão do nível de sujeira através da medição da perda em metros de coluna d'água ao longo do tempo e planejar o momento ideal para realizar eventuais processo de limpeza ajuda a minimizar o impacto causado pela sujeira.

O algoritmo de otimização precisa de várias informações de entrada para permitir sua execução. Entre elas, estão a disponibilidade das UGs, o nível máximo aceitável de sujeira, o intervalo de tempo entre as execuções do algoritmo de otimização, a queda de pressão e o valor desejado de vazão para cada UG. Além dessas informações, também são necessárias informações sobre fluxo, nível, altura bruta e altura líquida para permitir os cálculos do algoritmo e determinar a solução ideal dentro de um intervalo de tempo aceitável e maximizar o desempenho da usina.

Dois módulos especiais foram desenvolvidos na arquitetura para fornecer informações coletadas de outros sistemas, dados fornecidos pelos operadores e dados gerados pelo aplicativo de otimização. Um desses módulos oferece a possibilidade de construir relatórios personalizáveis de acordo com as necessidades do usuário, proporcionando flexibilidade ao sistema e reduzindo a necessidade de novos desenvolvimentos por especialistas, pois o próprio usuário pode construir os relatórios de que precisa. O outro módulo possibilita agendar exportações automatizadas das informações geradas pelos relatórios, evitando a necessidade de operações manuais e repetitivas. Este módulo oferece opções de exportação por hora, dia, semana ou mês, além de permitir adicionar dados a cada exportação ou sobrescrevê-los a cada execução.

Os dados exportados pelos módulos de integração de BI e exportação automática, assim como as informações geradas pelo otimizador, são enviados para uma plataforma especializada de Análise de Dados, desenvolvida com o objetivo de processar de forma distribuída todo o imenso volume de informações produzidas e disponibilizar informações por meio de ferramentas especializadas de visualização de dados.

Essa plataforma de análise foi desenvolvida utilizando Python e um framework para processamento de Big Data chamado Apache Spark. Esse framework gerencia a distribuição de tarefas dentro de um cluster de computadores e abstrai do programador as tarefas de sincronização, gerenciamento e correção de erros, agrupamento de resultados e transferência de informações dentro da rede, permitindo assim o foco na limpeza, transformação e processamento de dados. Durante o processamento, é utilizado um banco de dados NoSQL apropriado para trabalhar com conjuntos de dados grandes e com formatos não padronizados, que realiza a leitura e gravação de informações de forma distribuída e com bom desempenho, mantendo a integridade e segurança dos dados armazenados.

Após o processamento, os dados são armazenados em um banco de dados de BI em um SQL Server, integrado

às ferramentas existentes na usina que disponibilizam automaticamente os dados para os usuários da usina. As informações podem ser consumidas utilizando tanto o Power BI (uma ferramenta da Microsoft que permite a criação de painéis de controle, além da manipulação de dados), MS Excel, ou mesmo por meio de relatórios criados dentro da plataforma desenvolvida.

Foi desenvolvida uma aplicação web para possibilitar a configuração dos diversos módulos e visualizar os relatórios da plataforma. Ela permite que o operador defina o modelo de despacho da usina e configure o algoritmo de otimização, acessível de qualquer lugar na usina sem a necessidade de instalar aplicativos ou realizar qualquer configuração no computador do usuário. Além disso, essa aplicação web oferece acesso ao resultado do algoritmo de otimização, um painel de estados atuais em tempo real das UGs, os dados hidrológicos coletados pelo serviço da ANA, informações de manutenção obtidas pelo SAU e configurações do módulo de monitoramento do status das UGs.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A arquitetura coleta com sucesso dados de todos os sistemas desejados, tanto das redes de OT quanto de TI da usina. O principal diferencial da arquitetura é a capacidade de integrar dados de diferentes fontes, para que o usuário final possa acessar as informações sem a necessidade de manipulação ou execução de etapas complexas de configuração e exportação. A escolha das informações de interesse é feita pela aplicação web, que oferece um método intuitivo de exportar dados personalizados, permitindo que os funcionários da usina obtenham insights quando necessário. Esse módulo de exportação é constantemente utilizado para auxiliar na tomada de decisões na usina.

Utilizando os dados obtidos e processados pela arquitetura desenvolvida como entrada, o módulo de "identificação e monitoramento do status operacional" apresenta informações em tempo real sobre o status das unidades geradoras em um painel na sala de operações, permitindo que os operadores tomem decisões importantes sobre quais unidades geradoras podem ser utilizadas na geração, quais estão em manutenção e quais possuem alguma restrição, tudo com base em informações precisas. Antes da aplicação, a identificação era feita manualmente e constantemente havia atraso na atualização nos sistemas.

Além disso, a integração permitiu o desenvolvimento e aprimoramento da metodologia para a programação da geração (DESSEM) para os próximos dias. Os engenheiros responsáveis pela programação precisavam buscar dados em pelo menos três sistemas diferentes: dados operacionais do sistema SCADA, previsões hidrológicas em planilhas construídas pelo departamento de hidrologia e programação de manutenção do SAU; compilá-los e só então planejar o agendamento. O módulo desenvolvido para o DESSEM está atualmente na fase de testes e validação, e ele compila automaticamente os dados e gera o agendamento; os engenheiros só precisam validar o agendamento e, em seguida, enviá-lo para o ONS.

A integração também permitiu o desenvolvimento de um algoritmo de otimização para determinação em tempo real

do melhor despacho das unidades geradoras. O problema de otimização enfrentado pela UHE Jirau consiste num problema misto não-linear. Para solucionar o problema foram desenvolvidos um conjunto de algoritmos baseados em técnicas de Processos de Decisão de Markov, otimização por enxame de partículas e otimização inteira-mista. O algoritmo foca principalmente nas perdas hidráulicas causadas pelo acúmulo de material nas grades de captação de água. Os algoritmos do módulo de otimização foram desenvolvidos em linguagem "m-scripts", e são executados através do Octave. Ele também está na fase de testes e validação na usina.

É conveniente ressaltar que a arquitetura modular da plataforma, permite que cada um dos módulos possa sofrer modificações e utilizar técnicas diferentes das aplicadas. Para isso basta a realização dos ajustes necessários conforme a necessidade específica de cada UHE.

5. CONCLUSÃO

A arquitetura desenvolvida integra e concentra com sucesso informações de diferentes fontes da usina, contribuindo para a convergência das ferramentas de TI/TA, possibilitando tomadas de decisão em tempo real com base em uma maior inteligência operacional e, assim, permitindo a otimização da operação da UHE Jirau.

Os principais desafios para a construção dos módulos foram a identificação e integração de cada um dos sistemas e dados necessários para as aplicações. Esta é uma etapa necessária e será desafiadora para qualquer UHE em uma implantação de uma plataforma como a proposta, pois cada usina tem suas características e particularidades. Todos os módulos desenvolvidos para coletar, analisar e fornecer dados de e para diferentes sistemas estão em uso ativo na usina. Além disso, a integração bem-sucedida dos sistemas da UHE Jirau permitiu o desenvolvimento de dois módulos para otimizar diretamente a operação da usina. Um deles está focado em atividades de pré-operação, principalmente a programação da geração para os próximos dias. Por outro lado, o foco do segundo módulo está no despacho em tempo real das unidades geradoras de acordo com o cenário hidrológico atual. Esses módulos estão atualmente em fase de teste na usina, mas já estão mostrando resultados positivos na operação.

Por fim, a arquitetura modular garante a capacidade de incorporar futuras novas funcionalidades, ampliando ainda mais a capacidade de aplicação da ferramenta.

Para atividades futuras de continuidade do desenvolvimento, planejam-se o refinamento dos módulos, como por exemplo o módulo de otimização, onde os algoritmos utilizando as técnicas de MDP permitem uma melhoria de seus parâmetros através da aplicação de aprendizado de máquinas. Outro foco de possíveis pesquisas seria o desenvolvimento de módulos dedicados ao monitoramento ativo dos dispositivos voltados ao planejamento de manutenção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de P&D da Jirau Energia, regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, através do projeto "Otimização da Operação de

Usinas Hidrelétricas Através da Minimização das Perdas no Processo de Geração (PD-06631-0011/2020)”. Agradecemos também a CAPES, UNIFEI e IF Sul de Minas por seu reiterado apoio.

REFERÊNCIAS

- Agarwal, N. and Brem, A. (2015). Strategic business transformation through technology convergence: Implications from general electric’s industrial internet initiative. *International Journal of Technology Management*.
- Gadré, I. and Vackerberg, J. (2016). *Predicting the rate of adoption of IT/OT integration in the Swedish electricity grid system (master thesis)*. KTH Royal Institute of Technology.
- Garimella, P.K. (2018). It-ot integration challenges in utilities. In *2018 IEEE 3rd International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS)*, 199–204. IEEE.
- Hagner, S. (2016). Optimizing transmission asset health with it/ot integration. In *2016 Saudi Arabia Smart Grid (SASG)*, 1–6. IEEE.
- Jirau Energia, . (2021). URL <https://www.jirauenergia.com.br/multimedia/>.
- Lipnicki, P., Lewandowski, D., Pareschi, D., Pakos, W., and Ragaini, E. (2018). Future of iotsp-it and ot integration. In *2018 IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 203–207. IEEE.
- Scholten, B. (2007). *The road to integration: A guide to applying the ISA-95 standard in manufacturing*. Isa.
- Singh, R., Akram, S.V., Gehlot, A., Buddhi, D., Priyadarshi, N., and Twala, B. (2022). Energy system 4.0: Digitalization of the energy sector with inclination towards sustainability. *Sensors*, 22(17), 6619.