

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

POTENCIAL DO PADRÃO DE ARQUITETURA CQRS/ES APLICADO NO SETOR ELÉTRICO, VÁRIAS VISUALIZAÇÕES COM UMA FONTE DE DADOS

**MATHEUS NASCIMENTO SOARES MARQUES DE LIMA(1)
RTM SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO DE MISSÃO CRÍTICA S/A(1)**

RESUMO

O setor elétrico é composto por domínios: geração, transmissão, distribuição e comercialização. Cada domínio possui seus objetos de observação e existem vários agentes que compõem o setor. A finalidade desses objetivos é fornecer os melhores indicadores de desempenho. Nesse contexto, a existência de uma quantidade massiva de ações, processos, conversas, relatórios, comandos, análises é inevitável. Grande parte dessas informações são obrigatoriamente armazenadas para auditoria. Por isso, implementar um sistema que receba essas informações e as armazene de forma atômica, consistente, isolada e durável é indispensável. Logo, propõe-se o uso do padrão de arquitetura segregação de responsabilidades entre comandos e consultas com fornecimento de eventos.

PALAVRAS-CHAVE

Operação do Setor Elétrico; Comunicação Verbal; Fornecimento de Eventos; Segregação de Responsabilidade de Comando e Consulta; Base de dados; Domínios; Visualizações.

1.0 INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro possui a operação centralizada pela entidade chamada Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Essa entidade tem como responsabilidade operar o Sistema Interligado Nacional (SIN) por meio da comunicação com os agentes do setor elétrico, realizando ações coordenadas de diversos ativos do setor [1]. A quantidade de informações trocadas durante a operação é extensa, cada área do setor elétrico possui suas características e especificidades operativas.

Nesse cenário, os domínios da geração, da transmissão e da fronteira com a distribuição de energia são operados pelo ONS. Mas, a distribuição, por outro lado, é de responsabilidade das concessionárias de energia elétrica. O ONS procura fornecer energia para as concessionárias de forma estável e contínua. Elas, por sua vez, suprem as demandas das cargas instaladas (consumidores).

Por conseguinte, o foco do setor de geração são as unidades geradoras. No domínio de transmissão são os ativos do sistema que realizam o transporte de energia. Na distribuição são seus ativos e as cargas supridas. Dentro de cada domínio existem vários agentes que compõem o setor buscando entregar os melhores indicadores de desempenho.

Deste modo, como autoridade sobre esses agentes, existem entidades que operam (ONS), regulam e auditam (Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel), comercializam (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE), planejam (Empresa de Pesquisa Energética - EPE), monitoram (Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE), entre outras funções [2]. Tendo em vista esse cenário, é possível observar a complexidade do setor elétrico, nele, existem inúmeros *players*, quantidade massiva de ações, processos, conversas, relatórios, contratos, comandos, análises, estudos e outros. Por isso, grande parte dessas informações são obrigatoriamente armazenadas para fins de auditoria. Consequentemente implementar um sistema em que recebe informações e as armazena de forma atômica, consistente, isolada e durável é indispensável.

Nesse contexto, buscando atingir um resultado satisfatório e robusto o uso do padrão de arquitetura segregação de responsabilidades entre comandos e consultas (CQRS - *Command and Query Responsibility Segregation*) com fornecimento de eventos (ES - *Event Sourcing*) se faz relevante. Adicionalmente, busca-se uma fonte de dados única para servir de extração de informações e fornecer eventos.

Este artigo está organizado conforme descrito na sequência. A Seção 2.0 descreve os domínios do setor elétrico, a Seção 3.0 aborda o padrão CQRS/ES, a Seção 4.0 aborda estudos de casos para aplicação do padrão, a Seção 5.0 apresenta a fonte de dados única proposta e a Seção 6.0 compila as principais conclusões.

2.0 DOMÍNIOS

Como elucidado anteriormente, o setor elétrico pode ser descrito por quatro domínios: geração, transmissão, distribuição e comercialização.

No domínio de geração, o objeto de observação são as unidades geradoras de energia (UG), podendo ser Eólica, Hidrelétrica, Térmica, Solar e Nuclear, agentes geradores de energia e o operador ONS. A Figura 1 exibe os dados de geração de energia em MWmed para o ano de 2022, discretizando os subsistemas e os tipos de usinas [3].

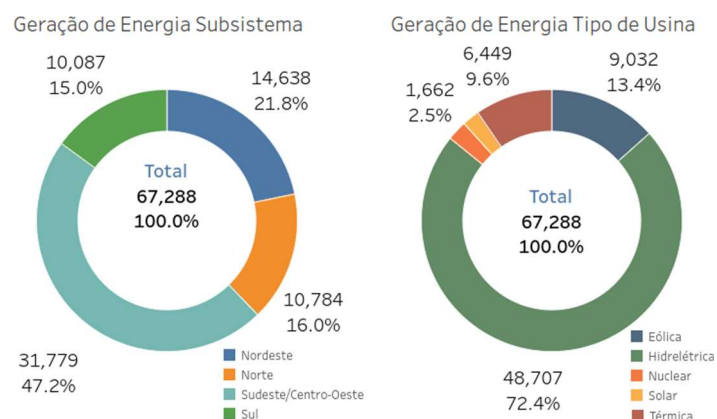


FIGURA 1 - Montantes de geração por subsistema e por tipo de usina para 2022.

Além disso, diariamente ocorre o despacho de energia mediante a programação da operação. As UG são alocadas para minimizar o custo de operação. Para isso, é explorado o Modelo DESSEM ou Modelo de Despacho Hidrotérmico de Curtíssimo Prazo, que visa otimizar a operação diária dos sistemas de energia no Brasil, considerando o Custo Marginal de Operação (CMO) do sistema elétrico discretizado a cada meia hora [4].

Outro aspecto relevante da geração de energia é o fato de existir dois tipos de produção. A geração centralizada, sendo as grandes centrais de produção de energia elétrica sob operação do ONS e a distribuída, sendo a geração elétrica realizada junto ou próximo dos consumidores (fora da operação do ONS).

A transmissão é a etapa entre a geração e a distribuição, nela são exploradas as linhas de transmissão (LT). Assim como as UG as LT são operadas pelo ONS coordenando as ações com agentes de transmissão. O Brasil, em 2022, registrava 179.311,5 km de linhas de transmissão de 230kV e acima. A Figura 2 exibe o mapa do sistema de transmissão do Brasil no horizonte de 2027 [5].

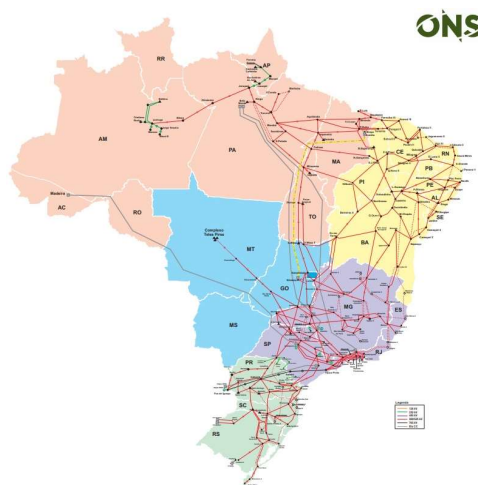


FIGURA 2 - Mapa de linhas de transmissão para o horizonte de 2027.

Consumo se caracteriza como a etapa de conexão entre o sistema de transmissão e a distribuição (ou carga), em 2022 o registro era acima de 1.000 pontos de conexão. As concessionárias entram nessa etapa visando suprir as cargas de consumidores cativos. No Brasil, em 2022, existem 59 distribuidoras e 131 consumidores livres, 190 agentes de consumo [6].

No âmbito do domínio da comercialização é onde ocorre a compra de energia elétrica, que pode acontecer junto a distribuidoras, com preços pré-definidos, ou de forma livre, junto a comercializadoras ou geradoras. Os ambientes onde ocorrem essas transações são chamados de ambiente de contratação regulado e ambiente de contratação livre ou mercado livre, respectivamente.

Por fim, a energia para os consumidores cativos é vendida para distribuidoras por leilões regulados. Os chamados consumidores livres possuem liberdade de negociação e de escolha para comprar a eletricidade que precisam diretamente do gerador ou de um intermediário (comercializador). Essa possibilidade embute riscos e oportunidades para esse tipo de consumidor. Segundo a CCEE em 2022, existiam 10.585 agentes consumidores no ambiente livre representando no período mais de 35% do consumo total de eletricidade do país [7].

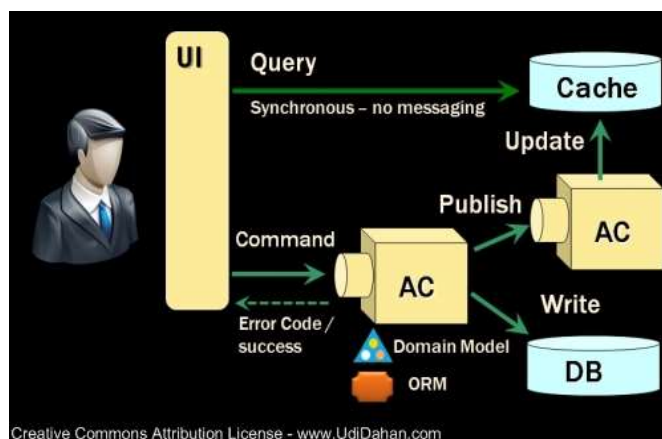
3.0 PADRÃO CQRS/ES

O CQRS (*Command Query Responsibility Segregation*) é descrito como um padrão de arquitetura cujo conceito é dividir as responsabilidades de leitura e consulta. Dessa maneira, no lugar do tradicional banco de dados único, existem dois que possuem responsabilidades únicas de comandos (escrita) e consultas (leitura), desafiando as tarefas e agregando maior confiabilidade e eficiência [8].

Somado ao CQRS, é indicado explorar o uso de *Event Sourcing*, em que as ações que geram uma mudança no servidor, ou em outras palavras, um efeito colateral, despacham eventos com o intuito de compor uma entidade. Como característica principal, comandos são imperativos e eventos são descritivos e no passado, por exemplo, o comando "fechar disjuntor 123" gera o evento "ramal 321 foi energizado", ou o comando "elevar 100 MW de geração na usina X" gera o evento "usina X elevou 100 MW de geração". Outra característica desse padrão de arquitetura é que os eventos não são excluídos, somente inseridos, logo não ocorre a perda de informações, o que é vital para o presente contexto.

Com a separação de responsabilidades, surge a necessidade de sincronizar as informações entre as bases de dados (comando e leitura), para isso um agente precisará ser acionado para criar ou atualizar o modelo de leitura por meio de agregações e este agente é chamado de *Projector* (projetor). Ele recebe este nome, pois geralmente, existe a necessidade de se transformar dados a fim de apresentá-los da forma esperada (os eventos por si só muitas vezes não trazem o valor desejado), para isso cria-se uma projeção dos dados na forma de forma personalizada, uma forma bastante conhecida e eficiente de projeção é o padrão *Materialized View* (Visões Materializadas) [9].

Entretanto, como existe um intervalo de tempo do momento em que o evento foi gerado até que a informação esteja persistida e agregada nas visões pelos projetores, é necessário verificar a necessidade de intervalo de atualização das visualizações. Caso o contexto do sistema tenha como pré-requisito que as informações estejam materializadas e disponíveis assim que elas ocorrerem, o agente de projeção deve ser acionado sempre que o evento desejado ocorrer e isso tem um custo operacional atrelado [10]. Dessa forma, como fator determinante para a aplicação desse padrão, existem vários casos no contexto do setor elétrico em que a consulta de informações ocorre de forma diária, mensal, semestral e até anual, principalmente no setor de pós-operação. A Figura 3 expõem o padrão CQRS no formato de diagrama [11].



Creative Commons Attribution License - www.UdiDahan.com

FIGURA 3 - Diagrama do padrão de arquitetura CQRS.

Na Figura acima é elucidado o funcionamento do padrão CQRS, nele podemos observar claramente a segregação da responsabilidade de comando (*command*) e consulta (*query*). Onde está indicado DB e Cache seria o local para armazenamento dos eventos fornecidos e dos dados das visualizações. Finalmente, nas caixas onde está escrito AC é representado genericamente componentes autônomos, responsável por processar os eventos e atualizar as projeções, cada sistema implementado nesse padrão possuirá componentes autônomos diferentes, conforme a característica do domínio.

Tendo em vista que o setor elétrico pode ser descrito como uma série massiva de eventos e que existem várias entidades que necessitam consultá-los com visões diferentes para cada objetivo, é possível afirmar que o padrão de arquitetura CQRS/ES é passível de ser implementado, com potencial de agregar grande valor no sentido de desempenho, confiabilidade, organização, complexidade e auditabilidade, em praticamente todas as etapas de implantação, operação, manutenção do SIN.

4.0 ESTUDO DE CASOS

Tomando como estudo de caso a pós-operação do ONS, pode-se observar algumas atividades que seriam beneficiadas por meio do padrão de arquitetura proposto, por exemplo:

- SADHI - Sistema de Apuração de Dados Hidrológicos e Hidráulicos
- SIPER - Sistema de Apuração das Interrupções do Serviço da Rede Básica nos Pontos de Controle
- SAMUG - Apuração das Mudanças de Estados Operativos de Unidades Geradoras e Interligações Internacionais
- SAMUST - Sistema de Apuração dos Montantes de Uso do Sistema da Transmissão
- SATRA - Sistema de Apuração de Dados da Transmissão
- SIPER - Sistema integrado de cadastramento de perturbações.

Cada processo elucidado listado acima possui um procedimento que o descreve e são vitais para o funcionamento do setor, eles geram indicadores de desempenho e podem impactar diretamente na receita dos agentes. A Tabela 1 apresenta três processos e os seus itens de apuração [12].

TABELA 1 - Lista de processos e itens que são apurados.

SIPER	SAMUG	SATRA
<ul style="list-style-type: none"> • Origem da Interrupção • Causa da Interrupção • Início da Interrupção • Término da Interrupção • Fronteira da Rede Básica • Tipo de Equipamento • Interna a Rede Básica • Externa a Rede Básica • Agente Proprietário 	<ul style="list-style-type: none"> • Desligamentos de UGs • Ligamento de UGs • Tempo de Partida • Rampa de Carga • Comprovação de Disponibilidade • Média de geração • Estado operativo • Data e Hora Início • Disponibilidade • Condição Operativa 	<ul style="list-style-type: none"> • Indisponibilidade de Função • Desligamento Programado • Desligamento Forçado • Aproveitamento • Manutenção Preventiva • Ampliação, Melhorias e Reforço • Plano de Modernização • Indisponibilidade Completa • Indisponibilidade Incompleta • Módulo Geral

Os processos elucidados são realizados diariamente e são considerados vitais para o setor da pós-operação no ONS, logo é interessante se aprofundar em como seriam explorados com o uso do padrão CQRS/ES.

Tomando esses três sistemas como estudo de caso para implementação do padrão CQRS/ES é possível interpretá-los como visualizações. Para sua criação é necessário mapear e gerar eventos relacionados aos domínios de geração e transmissão.

Proposta de eventos a serem gerados:

- interrupção iniciou
- interrupção finalizou
- UG deligou
- UG ligou
- comprovação de disponibilidade iniciou
- comprovação de disponibilidade finalizou
- indisponibilidade de função iniciou
- indisponibilidade de função finalizou

Somente com os eventos acima é possível montar projeções que trazem dados relevantes para os colaboradores que realizam a apuração. Entretanto, importante ressaltar que esses eventos possuem informações secundárias que podem ser adicionadas conforme forem ocorrendo (no formato de outros eventos) ou podem vir atreladas ao eventos

principal no momento em que o evento foi gerado, como, por exemplo, o instante que ocorreu a ação. Essas informações, podem ser chamadas de secundárias e estão diretamente relacionadas ao objeto de apuração, a Tabela 1 exibe cada informação atrelada ao sistema.

Interessante ressaltar que esse padrão é altamente escalável, ou seja, possibilita a adição de eventos e visualizações. Por exemplo, tomamos como exemplo três sistemas (visualizações), SIPER, SAMUG e SATRA para montar o caso de uso, abrangendo os domínios de geração e transmissão. Caso ocorra a necessidade de incorporar um quarto sistema de apuração, no domínio de distribuição, não seria um processo complexo e oneroso.

Nesse sentido, o uso desse padrão tem muita afinidade com o setor elétrico, como exemplos adicionais ao caso acima, pode-se listar outras possibilidades de implementação. A Tabela 2 expõem cenários passíveis de uso do CQRS.

TABELA 2 -Outras propostas de uso do padrão CQRS.

Domínio	Sub-Domínio	Eventos
Geração	Geração Centralizada	Programação da operação e a operação real, refletindo os estados operativos e o montante gerado
Geração	Geração Distribuída	Cargas instaladas, injeção de potência na rede básica
Comercialização	Leilões	Leilões e compra e venda de energia
Transmissão	Manutenção	Indisponibilidade e manutenções de equipamentos de potência
	Implantação	Novos empreendimentos entrando no sistema como novos equipamentos e Linhas de Transmissão no SIN
	Importação e exportação	Montantes de energia manipulado pelas conversoras
	Carga	Corte de carga
	Esquemas Especiais de Proteção	Atuação de sistemas especiais de proteção (SEP)
Causas Naturais	Meteorologia e Climatologia	Raios, ciclones tropicais e extratropicais, tornados, vendavais e queimadas
	Hidrologia	Pluviosidade, inundações bruscas e graduais, alagamentos, enchentes e deslizamentos
	Geologia	Processos erosivos, de movimentação de massa e deslizamentos

Os cenários apresentados são propostas de visualizações, entretanto para essa visualização é necessário fornecer eventos a partir de alguma fonte. Ou seja, resta somente solucionar o problema de fornecimento de eventos. A próxima seção aborda esse problema, propondo uma maneira de fornecer os eventos de forma centralizada e confiável para viabilizar a implementação padrão de arquitetura proposto no contexto do setor elétrico.

5.0 FONTE ÚNICA DE EVENTOS

Conforme explicado anteriormente, o setor elétrico e seus domínios podem ser modelados por meio de eventos. Cada evento representa uma ação que gera uma mudança. Foram apresentados casos de uso do padrão de arquitetura para os domínios do setor, entretanto, não foi exemplificado como seria o processo de geração/fornecimento dos eventos.

Nesse sentido, é desejada uma fonte de informações onde é possível abstrair praticamente todas as ações do setor e como proposta para servir de fonte única de dados. Um forte candidato a ser explorado para esse fim é a comunicação entre os colaboradores do setor, pelo fato das ligações telefônicas serem o principal meio de comunicação que o setor elétrico usa e nelas ocorre a verbalização de várias informações relevantes.

Toda comunicação efetuada nas salas de operação é gravada (armazenada em um servidor) e, posteriormente, é disponibilizada para o setor de pós-operação, para ser consultada quando for necessária a validação de informações. Para manter uma padronização na comunicação, o ONS desenvolveu um documento específico que descreve como o diálogo deve ocorrer [13].

Por meio de técnicas de Processamento de Linguagem Natural e Aprendizado de máquina é possível extrair informações-chave de ações tomadas pelos operadores e classificar a comunicação efetuada. Nas comunicações existem informações relacionadas aos equipamentos, ações, objetos, entidades, unidades de medida e valores quantitativos abordados durante a operação. No artigo de [14] é exposto o processo de treinamento de modelos para a classificação da comunicação verbal no setor elétrico.

Entretanto, antes de efetuar a extração das informações para compor eventos é necessário realizar uma etapa de transformação dos dados de voz/áudio em texto, o estudo [15] exemplifica como pode ser efetuada essa transformação buscando maximizar a taxa de acerto.

Nesse sentido, a Figura 4 exhibe as etapas necessárias para atingir o objetivo de criação de eventos.

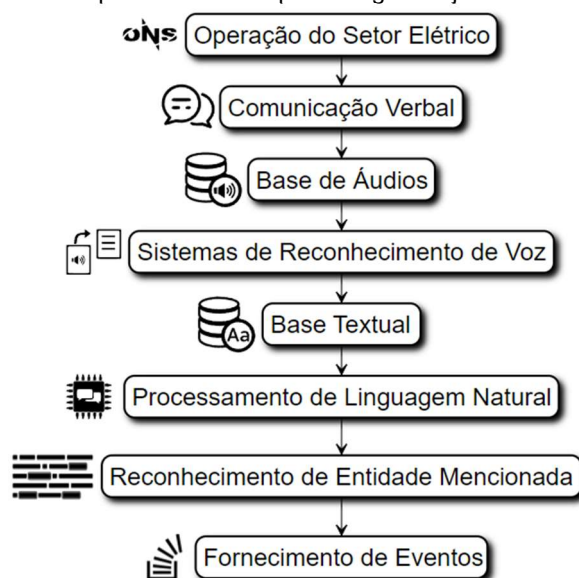


FIGURA 4 - Fluxograma de ações para atingir o fornecimento de eventos.

A partir da criação de eventos seria possível gerar as visualizações desejadas contanto que os eventos possuem as informações necessárias, quanto mais eventos e informações a base de dados possui mais visualizações são passíveis de implementação, potencialmente sendo a principal e mais rica fonte de informações do setor.

6.0 CONCLUSÃO

A problemática do setor elétrico possui uma forte afinidade com o padrão de arquitetura proposto devido ao nível de complexidade. Um dos principais benefícios da segregação de responsabilidades é o desempenho que se atinge na execução da leitura e escrita, comparando com padrão clássico (em que ocorre a leitura de escrita na mesma base de dados). Outra vantagem seria a que existe uma maior segurança e imutabilidade dos eventos ao garantir que apenas um modelo de dados realize gravações.

Ao adotar o padrão CQRS/ES, o modelo de escrita acaba absorvendo a complexidade das regras de negócio e validação nos dados. O modelo de leitura não possui lógica de negócio, devendo apenas retornar a informação para a exibição. Além disso, possibilita melhorar o desempenho, aplicando correções e adaptações isoladamente, podendo escalar horizontalmente, sem impactar o modelo de escrita.

Nesse sentido, como proposta de fonte única de informação, tem-se a comunicação verbal como principal candidata e com alto potencial de extração de informações. Por meio de um pipeline de ações é possível gerar eventos para persistência seguindo o padrão de arquitetura proposto, nesse sentido, centralizando as informações em uma base verdade imutável, confiável, escalável e auditável.

Portanto, por meio dessa fonte única de informações, se propõem a criação de visualizações para auxiliar o processo da pós-operação. Outra potencial funcionalidade seria para gerar métricas, indicadores e previsões a respeito da comunicação e do domínio que é explorado.

7.0 REFERÊNCIAS

- [1] ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. 2023. Disponível em: <http://www.ons.org.br>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- [2] ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico - Relacionamentos. 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/relacionamentos>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [3] ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico - Geração Energia, 2023. Disponível em: https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [4] ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico - DESSEM, 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20200101-onsimplantanovomodelodeprogramacao.aspx>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [5] ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico - Mapas, 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [6] ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico - Relatório Anual, 2022. Disponível em: <https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Relat%C3%B3rio%20Anual%20ONS%202022.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [7] CCEE. Mercado livre de energia ganhou 655 novos agentes consumidores em 2022. 2022. Disponível em: [https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/mercado-livre-de-energia-ganhou-655-novos-agentes-consumidores-em-2022-aponta-ccee#:~:text=O%20mercado%20livre%20de%20energia,de%20Energia%20El%C3%A9trica%20\(CCEE\)](https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/mercado-livre-de-energia-ganhou-655-novos-agentes-consumidores-em-2022-aponta-ccee#:~:text=O%20mercado%20livre%20de%20energia,de%20Energia%20El%C3%A9trica%20(CCEE).). Acesso em: 16 jun. 2023.
- [8] YOUNG, G. CQRS Documents by Greg Young. 2010. Disponível em: https://cQRS.files.wordpress.com/2010/11/cQRS_documents.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [9] GONÇALVES, M. M. CQRS (Command Query Responsibility Segregation) em uma Arquitetura de Microsserviços. 2020. Disponível em: <https://medium.com/@marcelomg21/cQRS-command-query-responsibility-segregation-em-uma-arquitetura-de-micro-servi%C3%A7os-71dcb687a8a9>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [10] FOWLER, M. CQRS. 2011. Disponível em: <https://martinfowler.com/bliki/CQRS.html>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [11] DAHAN, U. Clarified CQRS. 2009. Disponível em: https://udidahan.com/wp-content/uploads/Clarified_CQRS.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [12] ONS. Procedimentos de Rede. 2021. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [13] ONS. Submódulo 5.13 - Comunicação Verbal na Operação. Operador Nacional do Sistema Elétrico, 2022.
- [14] LIMA, M. N. S. M.; TAKIGAWA, F. Y. K.. Evaluation of Machine Learning Algorithms for Multiclass Classification of Voice Calls from Power Systems Operations. Istanbul. Anais do 7th International Conference on Engineering and Emerging Technologies. 7th International Conference on Engineering and Emerging Technologies. 2021. DOI: 10.1109/ICEET53442.2021.9659723. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9659723>. Acesso em: 16 jun. 2023.
- [15] LIMA, M. N. S. M.; COELHO, B. H.; TAKIGAWA, F. Y. K.. Processamento de Arquivos de Áudios e Texto Relacionados a Comunicação Verbal da Operação do Setor Elétrico. Rio de Janeiro. XXVI SNPTEE - XXVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. 2022.

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) MATHEUS NASCIMENTO SOARES MARQUES DE LIMA Formado em Engenharia Elétrica (2016-2021), pelo Instituto de Federal de Santa Catarina (IFSC) e pesquisador no Grupo em Estudos de Sistemas de Energia (GESE) (2016-2021). Estagiou no setor de pós-operação no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2019-2020). Formado em Desenvolvimento Mobile Android (2020 - 2021) pela Digital House. Atuou como Assistente de Projetos P&D na ENGIE Brasil (2021-2022) e atualmente desempenha a função de desenvolvedor para a empresa BYNE (2022-atual). Áreas de atuação: Desenvolvimento Back-end, Processamento de Linguagem Natural (NLP), Reconhecimento Automático de Fala (ASR), Aprendizado de Máquina (ML) e Visão Computacional.