

Sistema especialista para análise de eventos e alarmes para manutenção preditiva de subestação HVDC

Camila M. Andrade* João Soares Farias* Camila S. Gehrke*
Fabiano Salvadori*

* Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE),
Universidade Federal da Paraíba (UFPB, PB, (e-mail: c.andrade,
joao.soares, camila, salvadori.fabiano@cear.ufpb.br).

Abstract: Brazilian HVDC transmission systems are relevant to the electricity sector due to their ability to transmit a bulk of energy over large distances. Performing equipment maintenance is the most effective way to increase the reliability of HVDCs that are critical to maintaining systemic stability. Each year, for 80 hours, each of the HVDCs in Brazil can carry out scheduled maintenance with the shutdown of the equipment that is part of the converter transmission function in the preferential period between September and November without payment of a variable portion. HVDC substations are characterized by a high number of equipment in their configuration, because of this, carrying out an optimized planning so that during the shutdown period the greatest possible amount of corrective and preventive maintenance is performed becomes a problem. In this way, the present work proposes the development of an Expert System that through the analysis of historical events and alarms of an HVDC substation, results in a simplified demonstration of the performance of the equipment to assist in the planning of the maintenance shutdown.

Resumo: Os sistemas de transmissão em corrente contínua em alta tensão (*high voltage direct current* - (HVDC)) brasileiros são relevantes para o setor elétrico devido a capacidade de transmitir grandes volumes de energia por grandes distâncias. A realização da manutenção preventiva dos equipamentos dos sistemas HVDCs é a forma mais eficaz de aumentar sua confiabilidade, confiabilidade esta fundamental para manter a estabilidade do sistema interligado nacional (SIN). Anualmente, no período preferencial entre setembro e novembro, durante 80 horas cada um dos HVDCs do Brasil pode realizar manutenção programada com desligamento dos equipamentos que fazem parte da função de transmissão conversora sem o pagamento de parcela variável. As subestações em HVDC tem como característica um elevado número de equipamentos em sua configuração, por conta disso, realizar um planejamento otimizado para que durante esse tempo indisponível seja realizado a maior quantidade possível de manutenções corretivas e preventivas se torna um problema. Dessa forma, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um Sistema Especialista que através da análise de eventos e alarmes históricos de uma subestação HVDC tem como resultado a demonstração simplificada do desempenho dos equipamentos para auxiliar o planejamento da parada de manutenção.

Keywords: Expert system, HVDC, substation, Supervisory, SCADA, Equipment, Converter.

Palavras-chaves: Sistema especialista, HVDC, Subestação, Supervisório, SCADA, Equipamentos, Conversora.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de transmissão brasileiro possui seis grandes linhas em HVDC com capacidade de transmitir 20,6 GW o que corresponde a 8,4% de toda a capacidade instalada de geração de energia elétrica, ONS (2022).

A manutenção das subestações dos sistemas HVDCs é fundamental para manter a confiabilidade desses sistemas importantes para o setor de transmissão.

No modelo atual do setor elétrico brasileiro, as empresas de transmissão de energia são remuneradas pelas instalações disponibilizadas para o SIN. A qualidade do serviço pres-

tado pelas transmissoras está relacionado diretamente com esta remuneração, que neste caso é representada pela total disponibilidade das instalações da rede básica (a partir de 230kV). Se a qualidade exigida para a instalação não for atendida, está prevista a aplicação de uma penalidade denominada Parcela Variável(PV), que é um desconto no valor da remuneração atribuída às transmissoras.

A resolução normativa no. 906 de 2020 da Agência Nacional de Energia Elétrica(ANEEL) estabelece as regras dos serviços de Transmissão de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, no módulo quatro é especificado a regra associada à disponibilidade operacional da Função de

Transmissão(FT) Conversora das subestações em HVDC ANEEL (2020).

Os equipamentos associados a essa FT que correspondem a: válvulas tiristoras, transformadores conversores, equipamentos do pátio de corrente contínua, filtros de hármonicos de corrente alternada, filtros de harmônicos de corrente contínua, chaves e disjuntores de interligação, conforme item 5.18 do módulo quatro podem ficar indisponíveis anualmente para realização de manutenção durante 80 horas de forma programada no período preferencial entre setembro e novembro com isenção de pagamento de PV ANEEL (2020).

A remuneração prevista para a FT conversora está estabelecida na resolução normativa no. 906. Nas subestações HVDCs no Brasil essa FT é a que corresponde ao maior valor remunerado de toda a instalação. A PV é um desconto no valor da remuneração, e pode ser aplicada em caso de indisponibilidade, programada ou não, e no caso de restrição operacional.

Por isso, é fundamental realizar as manutenções dos equipamentos para evitar falha que resultem em indisponibilidade ou restrição operacional, e por conseguinte, possa gerar altos valores de pagamento de PV.

Determinadas atividades de manutenções corretivas e/ou preventivas só podem ser realizadas com o equipamento desligado, portanto, é fundamental identificá-las e priorizar as suas realizações durante a parada de maneira a minimizar os pagamentos de PV.

As subestações em HVDC tem como característica um elevado número de equipamentos em sua configuração, por conta disso, realizar um planejamento otimizado para que durante o período definido de desligamento seja realizada a maior quantidade possível de atividades de manutenção se torna um problema.

Através do sistema supervisorio, Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA), os equipamentos são monitorados constantemente e geram dados de eventos e alarmes que são exibidos em sua Interface Homem Máquina (IHM). Esta é a principal ferramenta para identificar possíveis falhas. A IHM tem capacidade limitada de exibição na tela das linhas com os eventos e alarmes gerados. A subestação HVDC do estudo de caso deste trabalho possui um sistema SCADA que está limitado a exibir até dez mil eventos ou alarmes na IHM de operação, essa quantidade correspondem a aproximadamente sete dias acumulados de dados gerados.

Outra característica dos sistemas HVDC é que o monitoramento constante dos numerosos equipamentos gera, diariamente, um grande volume de dados no SCADA. Utilizar esses dados gerados por um longo período nos estudos para identificar a causa principal de possíveis falhas se torna complexo devido a quantidade de dados.

Para a análise dos dados oriundos do monitoramento realizado pelo SCADA, são utilizados sistemas especialistas, sistemas estes, baseados em regras oriundas do conhecimento de especialistas em determinada área e em regras de domínio público simulam o comportamento de um especialista na análise e resolução de um problema, Rich (1991).

O sistema apresentado por Silva (2022) tinha por objetivo realizar a mineração de dados no histórico de alarmes para auxiliar no processo de análise de alarmes, de modo a acelerar e simplificar para os operadores. O proposto é uma plataforma para analisar os eventos registrados para definir regras inteligentes que permitam a apresentação de forma simples e objetiva de alarmes ao operador, além de diagnósticos das falhas envolvidas. O sistema utiliza técnicas de mineração de regras aplicadas às bases históricas de alarmes para obter, de forma automática, regras que possam ser combinadas com o conhecimento humano de forma a diagnosticar as principais ocorrências, melhorando o tempo de resposta dos operadores. Além disso, também foram identificados pelo sistema as ocorrências de alarmes de forma a obter conjuntos que permitam ao sistema lidar com situações de perdas de alarmes, que são eventuais no ambiente de tempo real. O trabalho que o presente artigo propõe tem como diferencial a utilização do sistema com foco na manutenção.

O sistema proposto por Pinto (2022) tinha como objetivo solucionar o problema da programação da manutenção de subestações, levando em consideração risco, custo e desempenho dos equipamentos. Foi definida uma função custo onde foi considerado esses três fatores e suas particularidades relacionadas ao contexto do setor elétrico nacional. O sistema define o melhor momento para realizar intervenção através de um processamento de otimização multi critérios realizados por técnicas de inteligência artificial que considera diversos fatores, como o estado do equipamento, a importância relativa do equipamento para a concessionária e para o SIN, os conceitos mais atuais sobre Gestão de Ativos e Gestão de Manutenção e a disponibilidade de recursos do agente, tanto recursos materiais como humanos. Esse sistema é mais vantajoso quando é necessário definir melhores datas para manutenção, diferente do artigo proposto que prioriza um maior número de realização de atividades em um determinado período de manutenção já definido.

Dessa forma, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um Sistema Especialista para manutenção preditiva que através da análise de eventos e alarmes históricos de uma subestação HVDC gerados durante um ano tem como resultado a demonstração simplificada do desempenho dos equipamentos para auxiliar o planejamento otimizado da parada de manutenção anual. Como modelo do estudo de caso do sistema foi utilizado dados reais da subestação HVDC de Terminal Rio.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados os aspectos considerados no desenvolvimento do método proposto; na seção 3 são apresentados os testes realizados; na seção 4 os resultados dos testes e por fim, as conclusões são apresentadas na seção 5.

2. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia utilizada para desenvolver o Sistema Especialista proposto neste trabalho consistiu das seguintes etapas: consolidação do banco de dados, definição de eventos e alarmes monitorados e geração de relatórios simplificados com tabelas e quantidades de ocorrências dos alarmes e eventos. O relatório gerado pelo sistema irá auxiliar a equipe na tomada de decisão do planejamento da parada,

para escolher os equipamentos que necessitam de atividade de manutenção.

Na Figura 1 observa-se o fluxograma do sistema especialista proposto no trabalho.

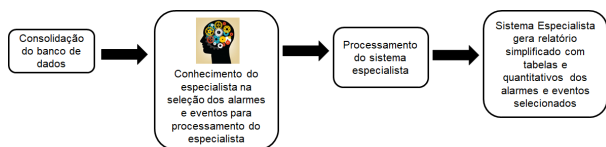


Figura 1. Fluxograma do sistema especialista

2.1 Consolidação do banco de dados

Uma das dificuldades para a análise por longos períodos é a limitação do número de eventos e alarmes exibidos na IHM do SCADA utilizada diariamente pela operação das subestações HVDC. Cada sistema tem um número definido de acordo com o fabricante que forneceu o SCADA.

No estudo de caso do desenvolvimento do sistema especialista, foram utilizados, como modelo para validação, os dados da subestação HVDC de Terminal Rio. O SCADA de Terminal Rio tem capacidade de exibir na IHM da operação até dez mil linhas de alarmes ou eventos. Essa quantidade se refere a aproximadamente uma semana de dados gerados.

Como a parada de manutenção é realizada anualmente, o período considerado para processamento do sistema especialista foi de todos os dados gerados de alarmes e eventos durante um ano.

A primeira etapa no desenvolvimento do sistema foi consolidar todos os dados gerados diariamente durante um ano de operação em um único banco de dados para processamento do especialista. A lista de eventos e alarmes gerada no dia é extraída do SCADA que gera um arquivo no formato valores separados por vírgula (comma separated values - csv).

Inicialmente o usuário deve inserir os dados diários extraídos do SCADA no mesmo diretório. O sistema especialista integra os dados diários extraídos do SCADA, e gera o banco de dados completo do histórico em formato de planilha do excel.

Na Figura 2 observa-se o fluxograma para gerar o banco de dados histórico consolidado.

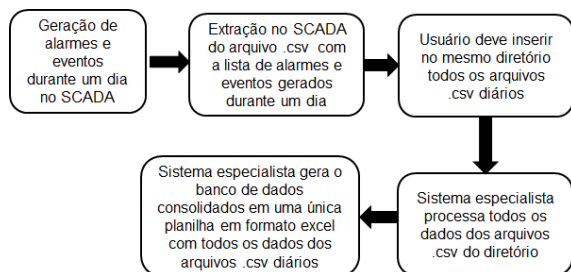


Figura 2. Fluxograma de geração do banco de dados consolidado

O banco de dados utilizado no estudo de caso refere-se ao período de 02 de março de 2020 a 02 de março de

2021. Esse período foi considerado para haver uma margem de meses antes da parada a ser realizada em setembro possibilitando à transmissora planejar o dimensionamento de mão-de-obra, maquinário, peças, materiais, logística e tudo que for necessário para realização das atividades de manutenção previstas.

Na Figura 3 demonstra-se o banco de dados consolidados, observa-se que cada linha corresponde a um evento ou alarme ocorrido, e que 801966 eventos foram registrados durante o período considerado. Além disso verifica-se que possui seis colunas que se referem a: data, hora, severidade, grupo, descrição e status.

	Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
0	2020-03-02	00:24:36.848	Normal	RIO	RIO_PCP1 - 1T01 - Phase A - TAP in the Progres...	On
1	2020-03-02	00:24:36.848	Normal	RIO	RIO_PCP1 - 1T02 - Phase A - TAP in the Progres...	On
2	2020-03-02	00:24:36.848	Normal	RIO	RIO_PCP1 - 1T02 - Phase A - TAP Change to the ...	Off
3	2020-03-02	00:24:36.848	Normal	RIO	RIO_PCP1 - 1T01 - Phase B - TAP in the Progres...	On
4	2020-03-02	00:24:36.848	Normal	RIO	RIO_PCP1 - 1T02 - Phase B - TAP in the Progres...	On
...
801961	2021-03-02	22:48:56.382	Normal	RIO	RIO_VCCP2B - Estado da Valvula Solenoide de Ga...	Open
801962	2021-03-02	22:50:01.542	Normal	RIO	RIO_VCCP2B - Estado da Valvula Solenoide de Ga...	Close
801963	2021-03-02	22:50:01.702	Normal	RIO	RIO_VCCP2A - Estado da Valvula Solenoide de Ga...	Close
801964	2021-03-02	23:11:15.022	Normal	RIO	RIO_VCCP1B - Funcionamento do Quarto Grupo Ven...	Shutdown
801965	2021-03-02	23:11:15.072	Normal	RIO	RIO_VCCP1A - Funcionamento do Quarto Grupo Ven...	Shutdown

Figura 3. Banco de dados consolidado

2.2 Definição de eventos e alarmes monitorados

O objetivo do sistema é analisar os equipamentos que fazem parte da FT conversora da subestação HVDC.

Os eventos e alarmes do sistema SCADA identificam os componentes da FT conversora pelo: número operacional dos equipamentos, código dos painéis de proteção e controle, ou código do equipamento do diagrama unifilar geral da subestação. Na Figura 4 que faz parte do diagrama unifilar geral observa-se com maior detalhe a identificação dos Transformadores conversores do Polo 1 através do número operacional 1T01 e 1T02.

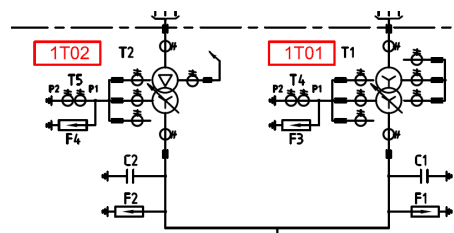


Figura 4. Número operacional dos transformadores conversores no unifilar

A subestação de Terminal Rio objeto do estudo de caso do modelo, possui 781 equipamentos na FT conversora.

Devido a esse grande número de equipamentos que compõe a FT conversora das subestações HVDC, o planejamento da manutenção desse período de 80 horas deve ser realizado de forma otimizada com o objetivo de realizar intervenções no maior número de equipamentos previamente identificados com possíveis falhas, cuja manutenção corretiva ou preventiva só possa ser realizada com os mesmos desligados.

O sistema especialista proposto é uma ferramenta que utiliza dados reais dos eventos e alarmes gerados pelo supervisor para auxiliar o planejamento de intervenções

a serem realizadas na parada para manutenção das subestações HVDC, ao demonstrar de maneira simplificada um compilado das ocorrências de eventos e alarmes de cada equipamento da FT Conversora durante o ano referente a parada.

O objetivo principal é que o resultado do número de ocorrências identifique, à partir dos dados analisados, os equipamentos com possíveis falhas e que devem ser prioritários nas intervenções realizadas durante a parada de manutenção anual.

Na Figura 5 são demonstrados os 25 eventos e alarmes que foram selecionados para teste do sistema. Foi considerado na seleção para serem testados os que correspondiam aos equipamentos principais da FT conversora que serão detalhados na seção dos testes.

Severidade	Descricao	Status
Emergencia	RIO_9662 - Position	Open
Emergencia	RIO_Panel AFP22B - UPD1 - D/9602 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
Emergencia	RIO_Panel AFP23A - UPD1 - D/9612 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
Emergencia	RIO_Panel AFP23A - UPD1 - D/9612 - Residual Overcurrent Protection Stage 2	Tripped
Emergencia	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D/9622 - Biased Differential Protection	Tripped
Emergencia	RIO_Panel AFP31A - UPD1 - D/9632 - Biased Differential Protection	Tripped
Emergencia	RIO_N2F2A - Panel NEP2A - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
Emergencia	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
Emergencia	RIO_N2F1A - Painel NEP1B - 1T02 - Fase A - Rele Buchholz de Bucha A	Disparado
Emergencia	RIO_N2F1B - Painel NEP1A - 1T01 - 1.0 Bar Trip	Tripped
Emergencia	RIO_PCP2 - VBE Trip Signal - Received from Panel VCI1-H1	Tripped
Emergencia	RIO_P2F2A - Painel PPR2A-H2 (P2FA) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
Warning	RIO_PCP2 - Pole 2 Inhibit to Increase Tap by Voltage Stress Protection	On
Warning	RIO_PCP1 - Pole 1 Inhibit to Increase Tap by Voltage Stress Protection	On
Warning	Converter Transformer1T02 - Phase C - Dissolved GAS and Moisture Monitor Service Alarm	On
Warning	RIO_PCP1 - 1T02 - Phase C - Dissolved GAS and Moisture Monitor Watchdog Alarm	On
Warning	RIO_PCP1 - 1T02 - Phase C - Dissolved GAS and Moisture Monitor Service Alarm	On
Warning	RIO_PCP1 - 1T02 - Phase B - Dissolved GAS and Moisture Monitor Watchdog Alarm	On
Warning	RIO_PCP1 - 1T02 - Phase B - Dissolved GAS and Moisture Monitor Service Alarm	On
Aviso	RIO_PCP1 - P1 - Experimentando Sobrecarga Mais de 20 Vezes em um Ano	Ligar
Aviso	RIO_PCP2 - P2 - Experimentando Sobrecarga Mais de 20 Vezes em um Ano	Ligar
Aviso	RIO_PCP1 - 1T01 - Fase B - Nivel de Oleo do OLTC Indicando a Posicao Minima	Ligar
Aviso	RIO_PCP1 - 1T01 - Fase C - Nivel de Oleo do OLTC Indicando a Posicao Minima	Ligar
Aviso	RIO_PCP2 - 2T02 - Fase B - Motor do disjuntor do OLTC - Sobrecarga - Alarme	Ligar
Aviso	RIO_PCP1 - 1T02 - Fase A - Motor do disjuntor do OLTC - Sobrecarga - Alarme	Ligar
Aviso	RIO_PCP1 - 1T01 - Fase A - Motor do disjuntor do OLTC - Sobrecarga - Alarme	Ligar

Figura 5. Seleção de eventos e alarmes para teste do sistema

O banco de dados contém um grande número de linhas, para melhorar o desempenho de processamento do sistema, a metodologia desenvolvida como é observado na Figura 5 utilizou apenas três colunas: severidade, descrição e status.

As palavras de cada coluna utilizadas pelo sistema para identificar as ocorrências do evento ou alarme no banco de dados foram denominadas pelo autor de palavras chaves. Na Figura 6 são apresentadas as palavras chaves utilizadas pelo sistema para identificar os 25 eventos e alarmes selecionados no teste.

Palavras chaves da Severidade	Palavras chaves da Descricao	Palavras chaves de Status
Emergencia	9662	Open
Emergencia	D/9602	Tripped
Emergencia	D/9612	Tripped
Emergencia	D/9622	Tripped
Emergencia	D/9632	Tripped
Emergencia	D/9642	Tripped
Emergencia	2T02	Tripped
Emergencia	Pole 2 Protective Block	Tripped
Emergencia	1T02p	Disparado
Emergencia	1T01	Tripped
Emergencia	2T01	Tripped
Emergencia	VBE	Tripped
Emergencia	Diferencial CC de Valvula	Ligar
Warning	Pole 2 Inhibit to Increase Tap	On
Warning	Pole 1 Inhibit to Increase Tap	On
Warning	1T02 - Phase C - Dissolved	On
Warning	1T02 - Phase B - Dissolved	On
Aviso	P1 - Experimentando Sobrecarga Mais de 20 Vezes em um Ano	Ligar
Aviso	P2 - Experimentando Sobrecarga Mais de 20 Vezes em um Ano	Ligar
Aviso	1T01 - Fase B - Nivel de Oleo do OLTC Indicando a Posicao Minima	Ligar
Aviso	1T01 - Fase C - Nivel de Oleo do OLTC Indicando a Posicao Minima	Ligar
Aviso	1T01 - Fase A - Nivel de Oleo do OLTC Indicando a Posicao Minima	Ligar
Aviso	2T02 - Fase B - Motor do disjuntor do OLTC - Sobrecarga	Ligar
Aviso	1T02 - Fase A - Motor do disjuntor do OLTC - Sobrecarga	Ligar
Aviso	1T01 - Fase A - Motor do disjuntor do OLTC - Sobrecarga	Ligar

Figura 6. Palavras chaves utilizadas no teste de processamento do sistema

3. TESTES

De acordo com a metodologia proposta foram realizados vinte e cinco testes de diferentes eventos e alarmes dos principais equipamentos da FT conversora que serão detalhados nesta seção.

Na Tabela 1 é apresentado a seqüência de testes realizados e o descritivo das ocorrências a serem compiladas pelo sistema especialista.

Tabela 1. Sequência de testes.

Teste	Descrição
01	Abertura do DJ 9662 do filtro BP2F3E14
02	Trip no DJ 9602 do filtro BP2F2D12
03	Trip do DJ 9612 do filtro BP2F2D13
04	Trip do DJ 9622 do filtro BP2F2D14
05	Trip do DJ 9632 do filtro BP2F3E11
06	Trip do DJ 9642 do filtro BP2F3E12
07	Trip no Trafo 2T02 fase A
08	Bloqueio do Polo 2
09	Trip no Trafo 1T02 fase A
10	Trip no Trafo 1T01
11	Trip no Trafo 2T01
12	Trip no módulo da válvula do Polo 2
13	Trip na válvula do Polo 2
14	Inibição de subida de TAP no Polo2
15	Inibição de subida de TAP no Polo1
16	Analizador de gases do Trafo 1T02 fase C
17	Analizador de gases do Trafo 1T02 fase B
18	Sobrecarga mais de 20 vezes no Polo 2
19	Sobrecarga mais de 20 vezes no Polo 1
20	Mínimo de Óleo do OLTC do Trafo 1T01 fase B
21	Mínimo de Óleo do OLTC do Trafo 1T01 fase C
22	Mínimo de Óleo do OLTC do Trafo 1T01 fase A
23	Sobrecarga-DJ do OLTC do Trafo 2T02 Fase B
24	Sobrecarga-DJ do OLTC do Trafo 1T02 Fase A
25	Sobrecarga-DJ do OLTC do Trafo 1T01 Fase A

O objetivo do teste **01** é identificar ocorrências de manobras de abertura do disjuntor de número operacional 9662 do filtro de harmônico BP2F3E14. Os disjuntores dos filtros de harmônicos realizam uma grande quantidade de manobras ao longo do tempo, pois a inserção e retiradas dos bancos de filtros variam conforme potência transmitida do sistema HVDC e condições sistêmicas. De acordo com o fabricante dos disjuntores em Siemens (2017) após três mil ciclos de manobras é necessário realizar a manutenção.

A verificação da quantidade de manobras já realizadas por cada disjuntor é feita visualmente no pátio pela equipe de manutenção durante a inspeção desses equipamentos. Com o auxílio do sistema especialista a verificação de todos os disjuntores poderá ser feita automaticamente.

Os testes de **02** a **06** objetivam identificar ocorrências de atuação da proteção dos filtros de harmônicos em CA com o envio do comando de *Trip* para realizar a abertura dos disjuntores: 9602, 9612, 9622, 9632 e 9642, que correspondem respectivamente aos bancos de filtros de harmônicos: BP2F2D12, BP2F2D13, BP2F2D14, BP2F3E11 e BP2F3E12.

Cada banco de filtro de harmônicos em CA das subestações HVDC é composto por um conjunto de diversos equipamentos, sendo estes: para-raios, transformadores de corrente, capacitores, reatores e resistores. Quando a pro-

teção do filtro atua devidamente e envia o comando de *Trip* para realizar a abertura do disjuntor correspondente ao banco é porque algum dos equipamentos pertencente a este banco apresenta algum problema e deve ser inspecionado. Os filtros de harmônicos possuem a maior quantidade de diferentes equipamentos, por isso a importância de verificar a ocorrência de *Trips* para identificar qual dos bancos necessita de uma inspeção detalhada durante a parada de manutenção.

No teste de número **07** há a ocorrência de *Trip* no transformador conversor 2T02 da fase A. Os transformadores conversores são equipamentos críticos para manutenção de subestações HVDC, devido ao elevado custo do equipamento, como também em caso de falha que necessite a substituição pelo reserva, essa troca poderá levar no mínimo oito dias de indisponibilidade do polo correspondente a esse transformador, ocasionando o pagamento de valores altos de PV.

No teste de número **08** temos a ocorrência de bloqueio do polo 2, que correspondem ao bloqueio de todos os equipamentos do polo negativo do pátio de CC. Quando um dos polos é bloqueado corresponde a indisponibilidade que irá gerar o maior valor de pagamento de PV.

Os teste de **09 a 10** são da ocorrência de *Trip* nos demais transformadores conversores de número operacional: 1T02, 1T01 e 2T01.

Os testes **12 e 13** se referem, respectivamente, a um módulo de tiristores da válvula do polo 2 e a válvula completa também do polo 2. A válvula tiristora é considerada um equipamento crítico para manutenção, por ser o equipamento de maior custo de toda subestação, e também devido ao acesso a sala para verificação e correção de falhas que só poder ser realizado com a válvula desligada e bloqueada.

O de número **14** a inibição de subida de TAP dos transformadores conversores do Polo 1, e o **15** o do Polo 2. A grande quantidade de mudança de Tap é um dos fatores que poderá ocasionar desgaste dos comutadores dos Transformadores Conversores.

Os **16 e 17** os transformadores conversores 1T02 fase C e fase B. Os Transformadores Conversores de Terminal Rio possuem analisadores de gases dissolvidos. A presença de gases em transformadores são indícios de ocorrência de problemas internos, por isso os eventos relacionados aos analisadores de gases foram considerados entre os processados pelo sistema especialista.

Os testes **18 e 19** identificam as ocorrências de sobrecarga mais de vinte vezes no Polo 2 e Polo 1. Cada Polo de Terminal Rio foi projetado para suportar até 1,33pu na sobrecarga, executar essa condição inúmeras vezes em um ano poderá gerar desgastes nos equipamentos a longo prazo, por isso o sistema especialista realizou a análise de ocorrência de eventos relacionados a Sobrecarga dos Polos.

Os de número **20 a 22** são dos comutadores dos Transformadores Conversores 1T01 fases B, C e A. E por fim, os testes **23 a 25** são de sobrecarga nos disjuntores dos comutadores dos transformadores conversores 2T02 fase B, 1 T02 fase A e 1 T01 fase A. O cigré realizou uma pesquisa internacional de desempenho de transformadores de potência em serviço com dados de falhas ocorridas entre

1968 e 1978. Entre as mais de mil falhas estudadas, a principal causa de defeito que gerou indisponibilidade do equipamento teve origem no comutador, On Load TAP changer(OLTC), com 40% CIGRE (1983).Portanto, será considerado análise de eventos relacionados aos OLTCs dos transformadores Conversores.

4. RESULTADOS

Cada teste efetuado gera automaticamente uma planilha de saída com todas as ocorrências do evento ou alarme selecionado pelo sistema, como também o valor total dessas ocorrências.

Na Figura 7 é demonstrado o resultado do teste **01** para a ocorrência de manobras de abertura do disjuntor(DJ) 9662.

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
02/04/2020	00:47:34.336	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
10/04/2020	17:15:05.692	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
10/04/2020	23:43:29.455	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
11/04/2020	20:25:37.768	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
23/04/2020	01:13:04.115	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
01/05/2020	02:15:55.573	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
08/05/2020	10:32:26.874	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
01/06/2020	22:01:02.200	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
05/06/2020	22:06:12.059	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
08/06/2020	22:41:57.910	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
13/06/2020	22:31:22.256	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
17/06/2020	23:27:59.449	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
26/06/2020	21:19:22.705	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
26/06/2020	21:19:22.705	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
10/12/2020	15:48:53.472	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
10/12/2020	15:48:53.472	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
10/12/2020	15:48:53.472	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
21/02/2021	06:23:18.390	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
21/02/2021	06:23:18.390	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open
26/02/2021	16:59:33.231	Emergencia	RIO	RIO_9662 - Position	Open

Figura 7. Resultado de abertura do Disjuntor 9662

O sistema gera automaticamente na saída uma nova planilha com o compilado dos dados com todas as ocorrências do evento que foi processado, como demonstrado na Figura 7. Nessa planilha também é obtido como resultado a quantidade de vezes que o evento ocorreu, nesse teste foi possível observar que o disjuntor 9662 realizou 20 manobras de abertura.

Na Figura 8 referente ao resultado do teste **02** observa-se nas planilhas de saída geradas algumas das principais ocorrências do evento referente ao disjuntor 9602, na Figura 9 o do **03** para o disjuntor 9612, na Figura 10 o do **04** para o disjuntor 9622, na Figura 11 o do **05** para o disjuntor 9632 e na Figura 12 o do **06** para o disjuntor 9642.

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
08/07/2020	11:00:22.797	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
08/07/2020	11:05:32.848	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Biased Differential Protection	Tripped
08/07/2020	11:05:33.121	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Phase Overcurrent Protection Stage 2	Tripped
08/07/2020	11:06:04.371	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Biased Differential Protection	Tripped
08/07/2020	11:06:04.648	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Phase Overcurrent Protection Stage 2	Tripped
08/07/2020	11:06:28.897	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Biased Differential Protection	Tripped
08/07/2020	11:06:28.900	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Biased Differential Protection	Tripped
08/07/2020	11:06:29.173	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Phase Overcurrent Protection Stage 2	Tripped
08/07/2020	11:06:42.479	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Biased Differential Protection	Tripped
08/07/2020	11:06:42.790	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Phase Overcurrent Protection Stage 2	Tripped
08/07/2020	11:07:38.868	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Biased Differential Protection	Tripped
08/07/2020	11:07:38.871	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Biased Differential Protection	Tripped
08/07/2020	11:07:38.877	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Biased Differential Protection	Tripped
08/07/2020	11:07:39.141	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Phase Overcurrent Protection Stage 2	Tripped
08/07/2020	11:07:58.562	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP228 - UPD1 - D19602 - Biased Differential Protection	Tripped

Figura 8. Resultado de Trip do Disjuntor 9602

O resultado do disjuntor 9642 do filtro BP2F3E12 demonstrou que não houve nenhum Trip durante o período de um ano considerado. Os demais disjuntores tiveram ocorrências, os filtros que tiveram trip devem ser considerados

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
13/07/2020	09:21:51.413	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23B - UPD1 - D19612 - Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	09:21:51.419	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23B - UPD1 - D19612 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	09:21:51.735	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23B - UPD1 - D19612 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	09:21:52.719	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23B - UPD1 - D19612 - Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	09:21:52.725	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23B - UPD1 - D19612 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	09:21:52.800	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23B - UPD1 - D19612 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	09:21:52.809	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23B - UPD1 - D19612 - Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	09:21:54.641	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23B - UPD1 - D19612 - Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	09:21:54.646	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23B - UPD1 - D19612 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	10:07:01.941	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23A - UPD1 - D19612 - Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	10:07:01.946	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23A - UPD1 - D19612 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	10:07:02.202	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23A - UPD1 - D19612 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	10:07:02.237	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23A - UPD1 - D19612 - Biased Differential Protection	Tripped
13/07/2020	10:07:02.307	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP23A - UPD1 - D19612 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped

Figura 9. Resultado de Trip do Disjuntor 9612

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
20/07/2020	09:43:47.394	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:43:47.398	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:44:29.931	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:44:29.936	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:44:30.160	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:44:30.380	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:44:30.386	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:44:30.609	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:46:25.152	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:46:25.158	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:46:25.408	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:55:06.758	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
20/07/2020	09:55:06.764	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP24A - UPD1 - D19622 - Biased Differential Protection	Tripped

Figura 10. Resultado de Trip do Disjuntor 9622

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
27/07/2020	07:29:39.496	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP31B - UPD1 - D19632 - Biased Differential Protection	Tripped
27/07/2020	07:29:39.498	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP31B - UPD1 - D19632 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped
27/07/2020	07:59:28.360	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP31A - UPD1 - D19632 - Biased Differential Protection	Tripped
27/07/2020	07:59:28.360	Emergencia	RIO	RIO_Panel AFP31A - UPD1 - D19632 - DPFC Biased Differential Protection	Tripped

Figura 11. Resultado de Trip do Disjuntor 9632

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status

Figura 12. Resultado de Trip do Disjuntor 9642

como prioritários para verificação da manutenção durante a parada, cuja a ordem deve ser decrescente, ou seja o filtro BP2F2D13 que teve como resultado 392 ocorrências deve ser o primeiro e o BP2F3E11 que teve 4 ocorrência deve ser o último.

Na Figura 13 demonstra-se os principais resultados do teste **07** para as ocorrências de Trip no Transformador Conversor 2T02.

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
07/08/2020	08:54:13.203	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	08:54:20.123	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2B - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	08:54:20.135	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2B - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:07.039	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:07.059	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:08.859	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:08.880	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:09.939	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:09.960	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:10.080	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:10.099	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:10.259	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:10.280	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:12.740	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:17.020	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:17.040	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:17.240	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:17.260	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:19.400	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:19.460	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:19.480	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:19.620	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:19.800	Emergencia	RIO	RIO_N2F2A - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:31:19.820	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2C - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped
07/08/2020	10:32:23.581	Emergencia	RIO	RIO_N2F2B - Panel NEP2A - 2T02 - Phase A - Buchholz Relay Bushing a	Tripped

Figura 13. Resultado de Trip do Transformador Conversor 2T02

O resultado do compilado dos eventos para o transformador conversor 2T02 fase A demonstrou as ocorrências de 68 Trips, ou seja, atuação da proteção por causa de algum problema no equipamento. Assim, no período de parada esse transformador deve estar entre as prioridades da manutenção.

A ocorrência de bloqueio no Polo 2 pela Proteção também foi identificado pelo sistema especialista no teste **08**, na Figura 14 são apresentados os principais resultados gerados na planilha de saída.

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
28/07/2020	18:27:18.073	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
07/08/2020	09:40:58.452	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
07/08/2020	09:42:38.539	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
07/08/2020	09:55:46.344	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
07/08/2020	10:11:36.495	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
07/08/2020	10:12:42.376	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
07/08/2020	11:18:21.451	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
07/08/2020	11:28:24.500	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
07/08/2020	11:29:38.319	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
10/08/2020	16:03:40.020	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped
25/10/2020	10:36:29.190	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - Pole 2 Protective Block Executed from Xingu Station	Tripped

Figura 14. Resultado de Bloqueio do Polo 2 pela Proteção Deve ser considerado a verificação dos 11 equipamentos que causaram o Bloqueio do Polo 2.

Nos testes **09** a **11** Os Transformadores Conversores 1T02, 1T01 e 2T01 foram analisados. Na Figura 15 são demonstrados os resultados para o 1T02, na Figura 16 para o 1T01 e na Figura 17 para o 2T01.

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
19/08/2020	09:15:51.298	Emergencia	RIO	RIO_N2F1A - Painel NEF1B - 1T02 - Fase A - Rele Buchholz de Bucha A	Disparado
19/08/2020	09:41:33.405	Emergencia	RIO	RIO_N2F1A - Painel NEF1A - 1T02 - Fase A - Rele Buchholz de Bucha A	Disparado
19/08/2020	09:41:33.413	Emergencia	RIO	RIO_N2F1B - Painel NEF1A - 1T02 - Fase A - Rele Buchholz de Bucha A	Disparado

Figura 15. Resultado de Trip do Transformador Conversor 1T02

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
05/11/2020	11:38:57.521	Emergencia	RIO	RIO_N2F1B - Panel NEF1A - 1T01 - 1.0 Bar Trip	Tripped
05/11/2020	11:38:57.525	Emergencia	RIO	RIO_N2F1A - Panel NEF1A - 1T01 - 1.0 Bar Trip	Tripped
05/11/2020	11:39:04.601	Emergencia	RIO	RIO_N2F1B - Panel NEF1A - 1T01 - 1.0 Bar Trip	Tripped
05/11/2020	11:39:04.605	Emergencia	RIO	RIO_N2F1A - Panel NEF1A - 1T01 - 1.0 Bar Trip	Tripped
05/11/2020	11:39:32.802	Emergencia	RIO	RIO_N2F1B - Panel NEF1B - 1T01 - 1.0 Bar Trip	Tripped
05/11/2020	11:39:32.805	Emergencia	RIO	RIO_N2F1A - Panel NEF1B - 1T01 - 1.0 Bar Trip	Tripped

Figura 16. Resultado de Trip do Transformador Conversor 1T01

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status

Figura 17. Resultado de Trip do Transformador Conversor 2T01

O resultado para esses transformadores conversores demonstrou que o único que não teve ocorrência de Trip foi o 2T01, que deve ser considerado entre os transformadores como de menor prioridade na parada de manutenção.

Na Figura 18 e na Figura 19 são demonstrados os resultados para os eventos relacionados à Válvula referentes aos testes **10** e **11**.

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
25/10/2020	08:37:26.063	Emergencia	RIO	RIO_PCP2 - VBE Trip Signal - Received from Panel VC11-H1	Tripped

Figura 18. Resultado da análise de Trip nos módulos de Tiristores da Válvula

Data	Hora	Severidade	Grupo	Descricao	Status
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2A - Painel PPR2A-H2 (P2FA) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2B - Painel PPR2B-H2 (P2FB) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2A - Painel PPR2A-H2 (P2FA) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2B - Painel PPR2B-H2 (P2FB) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2A - Painel PPR2A-H2 (P2FA) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2B - Painel PPR2B-H2 (P2FB) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2A - Painel PPR2A-H2 (P2FA) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2B - Painel PPR2B-H2 (P2FB) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2A - Painel PPR2A-H2 (P2FA) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar
01/11/2020	02:10:28.549	Emergencia	RIO	RIO_P2F2B - Painel PPR2B-H2 (P2FB) - P2 - Prot. Diferencial CC de Valvula - Zona 2	Ligar

Figura 19. Resultado de Trip na Válvula

Na Figura 20 e na Figura 21 são demonstrados os principais resultados para os eventos relacionados aos Taps dos Transformadores Conversores referentes aos testes **14** e **15**.

Na Figura 22 e na Figura 23 são demonstrados os principais resultados dos testes **16** e **17** para os eventos relacionados aos analisadores de gases dos Transformadores Conversores 1T02 fase C e 1T02 fase B respectivamente.

evento relacionado ao OLTC, todos os demais devem ser considerados verificação do OLTC durante a parada de manutenção.

Na Tabela 2 é apresentado um resumo com a quantidade de eventos ocorridos em cada um dos testes realizados.

Tabela 2. Número de ocorrência dos eventos por teste.

Teste	Descrição	Total
1	Abertura do DJ 9662 do filtro BP2F3E14	20
2	Trip no DJ 9602 do filtro BP2F2D12	29
3	Trip do DJ 9612 do filtro BP2F2D13	392
4	Trip do DJ 9622 do filtro BP2F2D14	49
5	Trip do DJ 9632 do filtro BP2F3E11	4
6	Trip do DJ 9642 do filtro BP2F3E12	0
7	Trip no Trafo 2T02 fase A	68
8	Bloqueio do Polo 2	11
9	Trip no Trafo 1T02 fase A	3
10	Trip no Trafo 1T01	6
11	Trip no Trafo 2T01	0
12	Trip no módulo da válvula do Polo 2	1
13	Trip na válvula do Polo 2	10
14	Inibição de subida de TAP no Polo2	107
15	Inibição de subida de TAP no Polo1	93
16	Analizador de gases do Trafo 1T02 fase C	42
17	Analizador de gases do Trafo 1T02 fase B	80
18	Sobrecarga mais de 20 vezes no Polo 2	1
19	Sobrecarga mais de 20 vezes no Polo 1	1
20	Mínimo de Óleo do OLTC do Trafo 1T01 fase B	2
21	Mínimo de Óleo do OLTC do Trafo 1T01 fase C	1
22	Mínimo de Óleo do OLTC do Trafo 1T01 fase A	0
23	Sobrecarga-DJ do OLTC do Trafo 2T02 Fase B	1
24	Sobrecarga-DJ do OLTC do Trafo 1T02 Fase A	5
25	Sobrecarga-DJ do OLTC do Trafo 1T01 Fase A	0

5. CONCLUSÃO

Com o objetivo de contribuir com o aumento da confiabilidade dos sistemas em HVDC, através da melhoria no planejamento para realização da manutenção dos equipamentos da FT conversora durante o período de 80 horas definido na resolução normativa 906 da ANEEL, o presente trabalho apresentou as etapas do desenvolvimento de um Sistema especialista para análise de alarmes e eventos dos equipamentos dessa FT para subestação HVDC.

Os dados históricos considerados para validação foram de um ano, foi suficiente pois a parada de manutenção é realizada anualmente. De modo a validar a proposta do sistema foi considerado nos testes os dados reais históricos da subestação HVDC de Terminal Rio.

É possível concluir através dos resultados obtidos que o sistema especialista transformou uma grande quantidade de dados que seria complexa de analisar em informações relevantes simplificadas que associam de forma preditiva a operação com a manutenção da subestação HVDC. Através do processamento dos dados históricos identificou eventos intermitentes com meses de diferença de ocorrência, realizou a contabilização dos alarmes ou eventos definidos que tiveram ocorrência durante um ano nos equipamentos da FT conversora.

Na Tabela 2 apresentada nos resultados é possível concluir ao considerar o número de ocorrência dos eventos

quais equipamentos seriam prioridade de verificação da manutenção durante a parada. Dentre os filtros de harmônicos em corrente alternada, o com maior prioridade é o BP2F2D13 e com menor o BP2F3E12. Entre os Transformadores Conversores o com maior prioridade é o 2T02 fase A. Ao considerar o nível de óleo é necessário verificar o OLTC dos transformadores 1 T01 fase B e 1 T01 fase C, e em relação ao motor dos disjuntores do OLTC deve ser considerado verificar o do 1T02 fase A.

Os resultados dos testes vinte e vinte e dois encontrados demonstram que a falha que gerou o primeiro alarme não foi corrigida definitivamente pois meses depois a mesma falha voltou a ocorrer. Com isso, é possível concluir que é importante identificar ocorrências de alarmes em períodos mais longos como o de um ano, pois a falha só é considerada definitivamente solucionada quando não existe mais nenhuma ocorrência.

Através das planilhas de saída geradas pelo sistema especialista de maneira rápida e objetiva com o compilado das ocorrências de cada evento ou alarme no longo prazo, permite uma avaliação sobre a eficiência da medida corretiva de uma falha, ou seja, em casos que a mesma ocorra novamente a correção realizada primeiramente foi insuficiente para sanar a falha e deve ser reavaliada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PPG em Engenharia Elétrica/UFPB, à State Grid e ao CNPq Processo 307588/2020-3 Chamada 02/2020 - Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - DT, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANEEL(2020). Resolução Normativa 906 de 2020. In Diário Oficial, *Agência Nacional de Energia Elétrica*, volume 158, pages 140,dezembro.
- CIGRE(1983). An International Survey on Failures in Large Power Transformers Service. In *ELEKTRA, CIGRE*, volume 88, Paris.
- ONS(2022). Programa mensal de operação, PMO. *Operador Nacional do Sistema Elétrico*, fevereiro.
- Rich, E. (1991). Artificial Intelligence. *Mc Graw-Hill*, 2ed., New York.
- Siemens(2017). Siemens Circuit Breaker - Instruction Manual 500kV 3AP2.
- Silva,V., Linden, R., Kopiler, A., Alves, A., PereiravJ., Junior L., Souza, P.(2022). Sistema de Mineração de regras associadas a falhas em subestações de energia elétrica. In *XXVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, GOP-26,v.238*.
- Pinto, M., Dias, R., Silva, F., Júnior, M., Souza, G., Alvez, M., Fehlberg, R., Araujo, D., Uras, C., Moura, G., Siqueira, I., Campos, Campo, A., Flauzino R.(2022) Inteligência Artificial para programação de manutenção com otimização de indicadores- estudo de caso. In *XXVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, GSE-003,, v.695*.