



GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES - GTM

A EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE NO USO DO SISTEMA DIANE PARA GERENCIAMENTO DE ENSAIOS PREDITIVOS DE ÓLEO

**VANESSA DE CÁSSIA VIANA MARTINS BELTRÃO(1); FRANCISCO FIGUEIREDO SILVA NETO(2);
WANDRÉ MATOS DE MEDEIROS(3); CLAYTON GUIMARÃES DA MATA(4); CHRISTIAN DUCHARME(5);
MARCELA PINHEIRO MOREIRA(6)
ELETRONORTE (1); ELETRONORTE (2); ELETRONORTE (3); CEPEL (4); CEPEL (5) CEPEL (6)**

RESUMO

Este artigo apresenta como a Eletronorte gerencia suas manutenções preditivas de análises de óleo isolante, uma obrigação legal a ser cumprida junto à ANEEL, e a ferramenta usada para identificação precoce de defeitos e que permite programar as manutenções preventivas nestes equipamentos. O cenário de pandemia do Covid-19 exigiu trabalhar de forma diferente e, intensificou o uso de sistemas informatizados para gerenciamento remoto da manutenção. O DianE, que utiliza diversas fontes de dados, a partir de metodologias e indicadores estatísticos, realiza análises automáticas baseadas em normas e definições de especialistas, indica o momento adequado para intervir nos equipamentos.

PALAVRAS-CHAVE

Gestão de ativos, Sistema DianE, Manutenção Preditiva, SAC (SAP Analytics Cloud).

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente as empresas do setor de energia elétrica vem buscando novas formas para gerenciar seus processos, unindo gestão de negócios e tecnologia da informação com foco na otimização dos resultados dos procedimentos de rotina. Em vista de soluções de análise de dados para a gestão e monitoramento das etapas dos processos, com objetividade na busca de informações de interesse, de forma rápida e de fácil interpretação.

O sistema de análise e diagnósticos preditivos de equipamentos, DianE, desenvolvido pelo Cepel e com sua última versão implantada na Eletronorte no final de 2019, apresentou expressivas melhorias como, o envio de e-mails automáticos para evidências de anormalidades e inclusão de novos critérios nas funcionalidades de gerenciamento de ensaios, de prazos e de monitoramentos especiais. Com isto, a ferramenta possibilitou o acesso à gestão de ativos integrando os níveis organizacionais, como áreas gerenciais, áreas técnicas e o laboratório de análise de óleo da Eletronorte - Lacen.

Outro relevante desenvolvimento foi a replicação das metodologias dos gerenciamentos e indicadores de desempenho do DianE para ambiente do SAC (SAP Analytics Cloud), hospedado na Eletrobras. Com isso, as análises dos dados pelo corpo gerencial tornaram-se mais rápidas, diretas, com fácil visualização e navegabilidade.

Diante das ferramentas disponibilizadas pelo DianE, a Eletronorte estabeleceu um procedimento para acompanhamento contínuo do processo de análise da manutenção baseada em ensaios de óleo isolante nos equipamentos de subestação, em especial ensaios de gás-cromatografia, físico-químico em transformadores, reatores e comutadores. O processo foi implantado no início de 2020 em um cenário ímpar de pandemia mundial e, por meio da solução desenvolvida, foi possível melhorar o gerenciamento das manutenções preditivas, otimizando as realizações de ensaios através do controle dos prazos e da situação operativa dos equipamentos.

A solução foi colocada em prática através do acompanhamento dos planos de manutenções preditivas de óleo da Regional do Pará, em uma operação assistida por uma equipe de trabalho que contou com a participação da engenharia de manutenção, equipes de manutenção/operação, químicos do Lacen e de pesquisadores do Cepel. E comprovou sua relevância ao incluir os vários níveis de atuação no processo de análise preditiva de óleo, estreitando a distância pré-existente entre as áreas responsáveis pela coleta, transporte, ensaio, análise dos dados e o parecer técnico final.

Diante desse contexto, a proposta contribui na maximização da eficiência no processo de análise dos ensaios periódicos na engenharia de manutenção, proporcionando ganhos aos processos empresariais da Eletronorte.

2.0 - MANUTENÇÃO PREDITIVA

A Resolução Normativa ANEEL nº 906/2020 em seu Módulo 4 - Prestação dos Serviços, estabelece como atividade mínima de manutenção preditiva em subestações, os ensaios do óleo isolante dos equipamentos, sendo: a análise dos gases dissolvidos no óleo isolante, com a periodicidade máxima de 6 meses e tolerância de 1 mês; e o ensaio físico-químico do óleo isolante com a periodicidade máxima de 24 meses e tolerância de 4 meses.

Na Eletronorte adota-se a periodicidade máxima de 6 meses para a análise dos gases dissolvidos no óleo isolante e de 12 meses para o ensaio físico-químico do óleo isolante, e o resumo do processo anteriormente realizado para detecção precoce de defeitos e atendimento à REN 906/2020, é mostrado na Figura 1.

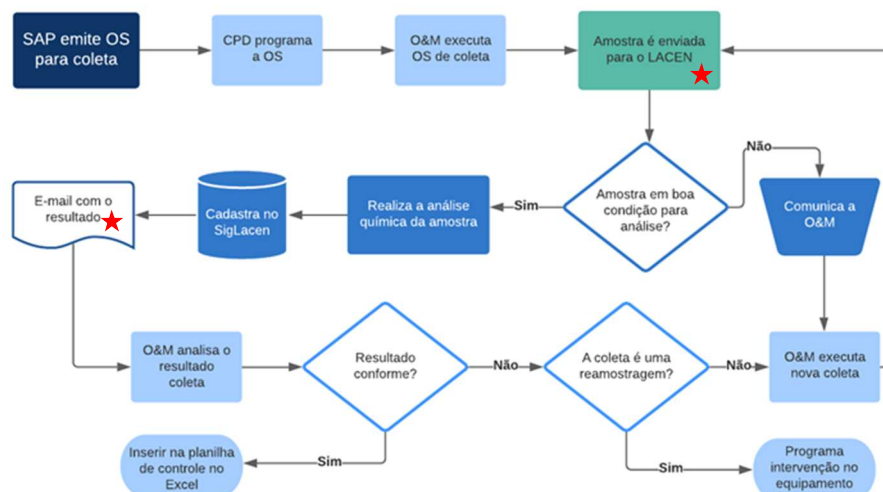


FIGURA 1 – Resumo do processo de manutenção preditiva - ensaios do óleo isolante – sem o Diane.

Observa-se no resumo apresentado, que várias áreas atuam no processo, e a sincronia e o tempo de resposta de cada uma dessas áreas têm impacto direto: no cumprimento dos prazos estabelecidos pela REN 906/2020, evitando penalizações com as fiscalizações; na atuação tempestiva da manutenção, evitando sinistros e penalizações por parcela variável intempestiva.

Diante de um cenário ímpar regido pela Pandemia do Covid-19, que chegou ao Brasil no início do ano de 2020, e exigiu que o mundo trabalhasse de forma diferente, alavancando o uso de sistemas informatizados, tornou-se essencial investir na melhoria do gerenciamento remoto das manutenções preditivas no setor elétrico para garantir a condição operativa dos ativos.

No fluxograma da Figura 1, as etapas destacadas com uma estrela eram os pontos onde as equipes de operação e manutenção (O&M) ficavam sem informação da situação da manutenção, que envolvia desde o envio da amostra de óleo até o recebimento do relatório de resultados. Assim, a pedido da Eletronorte, o Cepel implementou diversas melhorias no DianE objetivando cobrir as lacunas para acompanhamento remoto completo de sua manutenção preditiva, que engloba desde a emissão da ordem de serviço (OS) pelo SAP até o encerramento técnico desta OS.

3.0 - DIANE

3.1 Arquitetura

O sistema DianE vem sendo desenvolvido pelo Cepel, em parceria com as empresas do grupo Eletrobras, ao longo das duas últimas décadas. Durante esse tempo, o sistema tem evoluído, tornando-se cada vez mais robusto e confiável. Na versão atual, ver Figura 2, foram implementadas expressivas melhorias de desempenho e novas funcionalidades como a distribuição da aplicação de forma local na máquina do usuário para atingir maiores velocidades de acesso, o envio de e-mails automáticos para as anormalidades evidenciadas, a inclusão de novos critérios nas ferramentas de gerenciamento de ensaios, de prazos e de monitoramento especial, além da etiqueta de coleta para impressão (pré-preenchida) a partir da tela de equipamentos com ensaios atrasados.

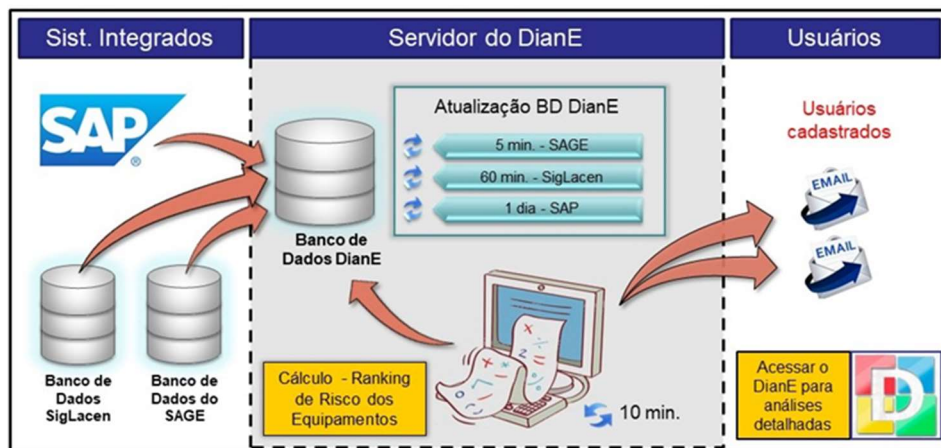


FIGURA 2 – Arquitetura do sistema DianE na Eletronorte.

Com essa estrutura corporativa ele é capaz de realizar análises e diagnóstico preditivo dos equipamentos de forma autônoma e automática, comunicando as partes interessadas, através de e-mails, quando se vê diante de alguma evidência de anormalidade que é reconhecida pelos métodos matemáticos desenvolvidos pelo Cepel utilizando normas técnicas, as experiências dos especialistas e inteligência computacional.

A arquitetura da Figura 2 mostra, no destaque central da imagem, a integração do sistema com diferentes fontes de dados: SAP IU da Eletrobras e os bancos do SAGE e SigLacen, que são responsáveis pela atualização automática e periódica, no servidor do DianE, de informações de ensaios e grandezas de monitoramento on-line. Os intervalos de atualização são configurados de acordo com cada necessidade.

O Ranking de Risco dos Equipamentos é responsável pela inteligência do sistema. Utilizando os dados das distintas fontes e transformando-os em informações úteis de acordo com a classificação de evidências de anormalidades para cada tipo de análise, definido no Modelo Centrado em Confiabilidade (MCC) do Diane.

A partir do recebimento do e-mail, cada usuário entra no DianE, navega por telas de acordo com o tipo de aviso e realiza suas considerações a respeito do aviso recebido, diretamente no sistema DianE.

3.2 Configurações iniciais

O DianE utiliza uma metodologia de configurações personalizadas para cada empresa signatária do sistema. A seguir serão apresentadas, de forma sucinta, algumas configurações personalizadas disponíveis para informatização e automatismo do processo de controle e diagnóstico dos equipamentos, baseado em análise preditiva de óleo isolante, foco deste trabalho.

3.2.1 Limites para ensaios

Os limites dos ensaios são configurados, por usuários administradores, de acordo com as definições de normativos internos de cada empresa e nas normas brasileiras e/ou internacionais. Para ensaios de óleo os cadastros são realizados de acordo com os seguintes critérios: Tipo de equipamento (transformador, reator, comutador, outros); Tipo de Ensaio (gás-cromatografia, físico-químico, 2Fal, outros); Classe de tensão; Aspecto construtivo (transformador, autotransformador, transformador de usina, outros); Tipo de meio isolante (óleo mineral, óleo vegetal); Potência nominal; Condição do Óleo (novo, usado - após tratamento, após regeneração); Tempo de operação, como mostrado na Figura 3.

Campo	Alarma 1	Alarma 2	Tipo Trafo	Tensão Nominal [kV]	Óleo	Potência Nominal [kVA]	T. Operação [anos]	Norma/Curva	Ativar
C2H2 [ppm]	>0		Autotransformador	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H2 [ppm]	>1		Monolítico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H2 [ppm]	>1		T trifásico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H2 [ppm]	>0		Autotransformador Trifásico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H4 [ppm]	>43		T trifásico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H4 [ppm]	>14		Autotransformador Trifásico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H4 [ppm]	>14		Autotransformador	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H4 [ppm]	>43		Monolítico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H6 [ppm]	>213		Monolítico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H6 [ppm]	>213		T trifásico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H6 [ppm]	>113		Autotransformador Trifásico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
C2H6 [ppm]	>113		Autotransformador	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
CH4 [ppm]	>94		Autotransformador Trifásico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
CH4 [ppm]	>121		T trifásico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
CH4 [ppm]	>94		Autotransformador	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
CH4 [ppm]	>121		Monolítico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
CO [ppm]	>630		Autotransformador	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim
CO [ppm]	>714		Monolítico	N.A.	Mineral Isolante	N.A.			Sim

FIGURA 3 – Tela de cadastro de limites dos parâmetros dos ensaios de óleo

3.2.2 Envio de e-mails de aviso

Quando é identificado algum parâmetro fora dos limites estabelecidos, seja um valor de ensaio, alarme de grandeza on-line ou algum outro tipo de evento de anormalidade observado pelo DianE, um e-mail de alerta poderá ser enviado para um responsável técnico, um gerente da área ou quantas pessoas forem designadas no cadastro, conforme mostrados na Figura 4.

A configuração é feita em duas etapas, primeiro se relaciona o usuário com as localidades e tipo de equipamento. Segundo os tipos de análises são relacionados aos respectivos usuários cadastrados anteriormente.

FIGURA 4 – Telas de cadastro de usuário para receber e-mails de alerta.

3.3 Telas de interface com o usuário

As interfaces dos usuários para gestão e controle da manutenção preditiva do óleo isolante são disponibilizadas por telas específicas para cada tipo de gestão/controle. Nesse sentido a Figura 5 mostra o fluxograma, implantado na Eletronorte, mapeando o processo de manutenção preditiva do óleo com objetivo de guiar na navegabilidade das ferramentas do DianE.

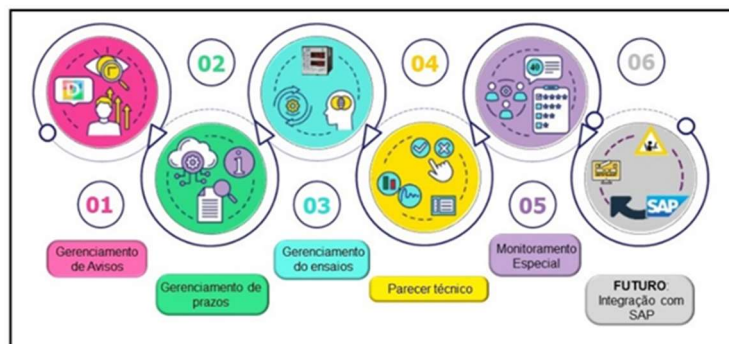


FIGURA 5 – Fluxograma do processo preditivo de óleo isolante

3.3.1 Gerenciamento de Avisos

A partir do recebimento de um e-mail de aviso pelo responsável técnico, este acessa o DianE e avalia o registro do aviso recebido. A tela de Gerenciamento de Avisos tem duas guias, conforme mostrado na Figura 6, uma

para avisos não reconhecidos (novos ou em avaliação) e outra para avisos reconhecidos e/ou resolvidos. Todos os avisos devem ser analisados e reconhecidos, caso contrário, o sistema continuará a disparar e-mails diários até que o responsável pelo equipamento efetue o referido reconhecimento.



FIGURA 6 – Tela de gerenciamento de avisos e e-mails

O DianE oferece ferramentas para analisar cada tipo de aviso recebido, onde clicando sobre o registro de interesse, p. ex. “Superação de Limites de Ensaio Periódicos”, segundo registro na Figura 6, o usuário navega para a tela da análise daquele aviso, que apresenta um relatório detalhando qual parâmetro foi ultrapassado, os valores e a gravidade relacionada ao risco dessa ocorrência, conforme ilustrado na Figura 7.



FIGURA 7 – Grau x Confiança do Defeito com Relatório detalhado

A partir da tela de análise do aviso, é possível navegar para a tela dos ensaios, utilizando a opção destacada em verde no menu suspenso, e analisar o histórico do equipamento sob estudo, conforme apresentado na Figura 8.

Ordem de Serviço	Número de Série	Data de Coleta	Situação do Ensaio	Data de Recebimento Lab	Data do Ensaio	H2	O2	N2	CH4	CO	CO2	C2H4	C2H6	C2H2	TG
<Sem OS>	50168	27/01/2015	Aguardando Parecer		02/02/2015	1438	4902	57233	569	112	572	2	96	0	598
<Sem OS>	50168	02/01/2015	Aguardando Parecer		05/01/2015	22	4134	53631	29	112	572	2	96	0	598
<Sem OS>	50168	25/12/2014	Aguardando Parecer		29/12/2014	1256	5471	58535	415	324	588	451	196	1973	68
<Sem OS>	50168	27/08/2014	Aprovado		08/09/2014	4	7823	61531	42	169	715	5	145	0	70
<Sem OS>	50168	18/03/2014	Aprovado		28/03/2014	0	5430	59894	41	156	609	6	149	0	66
<Sem OS>	50168	05/07/2011	Aprovado		14/07/2011	0	2075	55879	39	155	617	5	109	0	58
<Sem OS>	50168	28/08/2007	Aprovado		05/09/2007	5	1875	52123	25	86	535	3	39	0	54
<Sem OS>	50168	01/06/2005	Aguardando Parecer		03/06/2005	2	31395	156850	44	63	682	12	122	0	18
<Sem OS>	50168	09/05/2005	Aprovado		13/05/2005	8	2174	81233	120	66	1939	48	485	1	86

FIGURA 8 – Tela de ensaio de gases, com o histórico do equipamento sob estudo

Os itens em vermelho, na Figura 8, indicam alteração em relação aos limites previamente estabelecidos. Nesse caso, onde houver alteração o responsável técnico deverá realizar uma avaliação aprofundada com base nos métodos e normas pré-definidos pela empresa. Assim, com o registro a ser analisado selecionado, clica-se no botão “diploma” e uma nova tela será exibida com as análises clássicas e estatísticas (gases chave, desvio padrão, limite do P90, etc.) para dar suporte ao parecer do técnico responsável, conforme ilustrado na – Tela de Análise por Métodos Clássicos.

Parâmetros do Ensaio - Data de Coleta: 27/01/2015

Ordem de Serviço	Situação do Ensaio	Data Coleta	Data Ensaio	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CH4	CO2	O2	N2	H2	Respon
		27/01/2015	02/02/2015	1000	596	221	323	569	676	4502	57233	1438	LACEI

Análise dos Métodos

- ☒ Método ABNT: Descargas de baixa energia
- ☒ Método IEC61850: Descargas de baixa energia
- ☒ Método Rogers: Arco - with power follow through
- ☒ Método Dornenburg: Descargas elétricas (exceto corona)
- ☒ Método Laborelec: Arco (óleo) e/ou gás proveniente do comutador de tap - Amplitude da Degradação: Muito importante.

Parecer da Engenharia

Método ABNT: Descargas de baixa energia
 Método IEC61850: Descargas de baixa energia
 Método Rogers: Arco - with power follow through
 Método Dornenburg: Descargas elétricas (exceto corona).
 Método Laborelec: Arco (óleo) e/ou gás proveniente do comutador de tap - Amplitude da Degradação: Muito importante.

Método análise de gases chave: arco elétrico
 TGI: crescimento acima dos 10% ao mês
 TGC: crescimento acima dos limites ao mês
 Análise: pelo teor de acetileno e pelos análise dos métodos a indicativo de arco elétrico no equipamento.

Conclusão: foi gerado uma nota NM XXXX no SAP para executar atividade de intervenção e avaliação no equipamento

Situação dos Dados do Ensaio *

Situação dos Dados do Ensaio: **Aprovado**
 Motivo da Reprovação:

Resumo

	C2H4	C2H6	C2H2	TG
72	2	96	0	58
88	451	196	973	68
15	5	145	0	70
09	6	149	0	66
32	8	144	0	67
37	3	128	0	64
20	5	135	0	54
82	4	120	0	65
17	5	109	0	58
60	4	97	0	48
51	4	86	0	47
25	2	72	0	62
63	3	56	0	78
84	2	53	0	30
51	2	28	0	46
86	2	53	0	58
87	1	28	0	44
55	2	30	0	46
61	9	212	0	84
35	3	39	0	54
35	2	31	0	42
45	3	28	0	40
15	2	19	0	44
71	2	14	0	24
82	12	122	0	18
939	48	485	1	86

Data Cadastro: 21/10/2016

FIGURA 9 – Tela de Análise por Métodos Clássicos

Após o técnico responsável pelo parecer analisar o resultado de cada um dos métodos disponibilizados pelo DianE, este deverá escrever sua conclusão no campo “Parecer Técnico” e alterar o combo “Situação dos Dados do Ensaio” para “Aprovado” se todos os parâmetros estiverem normais. Caso algum parâmetro não apresente um resultado confiável ou coerente, uma nova amostragem deverá ser solicitada antes de preencher o combo “Situação dos Dados do Ensaio” para “Aguardando reamostragem”. O ensaio será “Reprovado” quando o resultado da reamostragem der normal em relação ao ensaio anterior em um período inferior ao período do plano.

3.3.2 Gerenciamento de Prazos

O gerenciamento de prazos consiste em realizar o acompanhamento da realização dos ensaios dentro das periodicidades definidas pela REN 906/2020 e de suas tolerâncias.

A tela de gerenciamento de prazos é acessada pela opção Ferramentas do menu principal do DianE e nesta é apresentada uma lista com todos os ensaios, que podem ser filtrados de acordo com a necessidade do usuário.

Na listagem exibida nesta tela, conforme mostra a Figura 10, os ensaios vencidos há mais de 15 dias aparecem destacados em vermelho, os vencidos a menos de 15 dias aparecem destacados em cinza, os que faltam menos de 30 dias para o vencimento são destacados em amarelo e os que ainda vão vencer aparecem sem destaque de cor. A partir desse ranking, em ordem decrescente dos dias que faltam para o vencimento, os responsáveis técnicos fazem a programação e acompanhamento da manutenção desde a execução até a emissão do parecer técnico de cada ensaio, com seu devido encerramento técnico no SAP.

Gerenciamento de Prazos

Regional	Localidade	Tipo	Cod. Identificação	Sit. Operacional	Intervalo de Análise	Próximo Exat	Monitoramento Especial	Data Última Evento	Periodicidade (dias)	Data Próxima	Estado Operacional	Grau de Exatidão
OTIP	SE Uirapuru	Transformadora	1197436	USF603 Fase B	Data Ensaio: Gases	158	Não	16/03/2021	180	12/09/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Uirapuru	Transformadora	1197443	USF603 Fase V	Data Ensaio: Gases	158	Não	16/03/2021	180	12/09/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Uirapuru	Transformadora	1197450	USF604 Fase A	Data Ensaio: Gases	158	Não	26/03/2021	180	24/09/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Uirapuru	Transformadora	1197504	USF604 Fase B	Data Ensaio: Gases	158	Não	16/03/2021	180	12/09/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Uirapuru	Transformadora	1197517	USF604 Fase V	Data Ensaio: Gases	158	Não	23/09/2019	180	21/03/2020	Em Serviço	1
OTIP	SE Uirapuru	Transformadora	1220570	USF720	Data Ensaio: Gases	158	Não	16/03/2021	180	12/09/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Uirapuru	Transformadora	1220576	USF720	Data Ensaio: Gases	158	Não	14/09/2020	180	13/03/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1191972	VGAT7-01 Fase A	Data Ensaio: Físico-Químico	260	Não	12/06/2020	360	07/06/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1191987	VCF607	Data Ensaio: Físico-Químico	260	Não	18/06/2021	360	13/06/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1191982	VCF608	Data Ensaio: Físico-Químico	260	Não	18/06/2021	360	13/06/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197613	VGAT7-01 Fase B	Data Ensaio: Físico-Químico	260	Não	12/06/2020	360	07/06/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197627	VGAT7-01 Fase V	Data Ensaio: Físico-Químico	260	Não	12/06/2020	360	07/06/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197641	VGAT7-01 FASE R	Data Ensaio: Físico-Químico	260	Não	25/11/2020	360	15/11/2021	Reserva Fria	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197628	VGAT7-02	Data Ensaio: Físico-Químico	260	Não	12/06/2020	360	07/06/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197644	VGAT7-04 FASE A	Data Ensaio: Físico-Químico	270	Não	07/07/2021	360	02/07/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197688	VGAT7-04 FASE B	Data Ensaio: Físico-Químico	270	Não	07/07/2021	360	02/07/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197672	VGAT7-04 FASE V	Data Ensaio: Físico-Químico	270	Não	07/07/2021	360	02/07/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1220502	VCF601	Data Ensaio: Físico-Químico	260	Não	18/06/2021	360	13/06/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1220501	VCF602	Data Ensaio: Físico-Químico	260	Não	18/06/2021	360	13/06/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1220503	VCF623	Data Ensaio: Físico-Químico	95	Não	25/11/2020	360	20/11/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1220540	VCF624	Data Ensaio: Físico-Químico	95	Não	25/11/2020	360	20/11/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1220581	VCF620	Data Ensaio: Físico-Químico	176	Não	26/03/2021	360	21/03/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1220581	VCF620	Data Ensaio: Físico-Químico	176	Não	26/03/2021	360	21/03/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1191972	VGAT7-01 Fase A	Data Ensaio: Gases	23	Não	22/04/2021	180	19/10/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1191987	VCF607	Data Ensaio: Gases	23	Não	12/06/2020	180	08/02/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1191982	VCF608	Data Ensaio: Gases	23	Não	22/12/2020	180	20/06/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197613	VGAT7-01 Fase B	Data Ensaio: Gases	23	Não	12/06/2020	180	08/02/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197627	VGAT7-01 Fase V	Data Ensaio: Gases	23	Não	22/04/2021	180	19/10/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197641	VGAT7-01 FASE R	Data Ensaio: Gases	37	Não	06/09/2021	180	02/11/2021	Reserva Fria	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197628	VGAT7-02 Fase A	Data Ensaio: Gases	39	Não	07/07/2021	180	03/07/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197644	VGAT7-03 Fase B	Data Ensaio: Gases	39	Não	07/07/2021	180	03/07/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1197688	VGAT7-03 Fase V	Data Ensaio: Gases	39	Não	25/03/2021	180	03/07/2022	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1220502	VCF623	Data Ensaio: Gases	66	Não	04/06/2021	180	01/12/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1220540	VCF624	Data Ensaio: Gases	66	Não	20/11/2020	180	19/05/2021	Em Serviço	1
OTIP	SE Vila do Conde	Transformadora	1220581	VCF620	Data Ensaio: Gases	66	Não	20/11/2020	180	19/05/2021	Em Serviço	1

FIGURA 10 – Tela de Gerenciamento de Prazos

3.3.3 Gerenciamento de Ensaios

O Gerenciamento de Análise dos Ensaios tem como objetivo garantir que todos os ensaios realizados sejam analisados pelo técnico responsável com emissão de seu respectivo Parecer Técnico.

A tela de Gerenciamento de Ensaios, vista na Figura 11, mostra uma lista de todos os ensaios já realizados que ainda necessitam de um parecer do técnico responsável. Por padrão essa lista está configurada para exibir apenas os registros dos ensaios cuja coluna “Situação do Ensaio” está em “Aguardando Parecer”, assim quando o técnico concluir o parecer deste registro este não aparecerá mais na tela, a não ser que o combo “Situação dos Dados do Ensaio” seja modificado.

[illegible]

FIGURA 11 – Tela de Gerenciamento de Ensaios

Através da coluna “Situação do ensaio”, em cada registro que contenha o texto “Aguardando Parecer” destacados em azul na Figura 11, é possível acessar, com um duplo clique, a tela de edição do Parecer da Técnico, que será abordada no próximo item.

A meta dos responsáveis técnicos é que esta lista da Tela de Gerenciamento de Ensaios esteja sempre sem registros aguardando parecer.

3.3.4 Parecer Técnico

A emissão do parecer técnico, cuja tela de preenchimento é ilustrada na Figura 12, é de extrema importância para a conclusão da manutenção preditiva de ensaios se óleo isolante, pois é neste momento que o responsável técnico, com base nas ferramentas de análise - grau de defeito x confiança, comparação, histórico, evolução e análises tradicionais dos ensaios - classifica a situação dos ensaios do equipamento e programa intervenções de manutenção preventiva, quando necessário.

Conforme já abordado no item 3.3.1 deste artigo, após o técnico responsável analisar o resultado de cada um dos métodos disponibilizados, este deverá escrever sua conclusão no campo “Parecer Técnico” e alterar o combo “Situação dos Dados do Ensaio” para “Aprovado”, “Aguardando reamostragem” ou “Reprovado”. Para as duas últimas opções é obrigatório o cadastramento de uma ação que será tratada dentro do processo, como um monitoramento especial.

FIGURA 12 – Cadastros e Monitoramento Especial

3.3.5 Monitoramento Especial

Conforme explanado no item anterior, quando um equipamento apresentar no Parecer Técnico o combo “Situação dos Dados do Ensaio” preenchido com “Aguardando Reamostragem” ou “Reprovado”, uma ação deve ser cadastrada na tela de monitoramento especial, ilustrada na Figura 13.

Cód. Identificação	Id Operacional	Regional	Localidade	Tipo de Equipamento	Ação	Início do Monitoramento Especial	Prioridade	Periodicidade
11919400	TVTF4-02	OTF	SE Tucuruí	Transformador	Inspeção da base de montagem do transformador	12/8/2020	Em Observação 2	30 C
11919400	TVTF4-02	OTF	SE Tucuruí	Transformador	Ensaio de físico-químico do óleo isolante do transformador	3/5/2020	Em Observação 2	30 O
11919400	TVTF4-02	OTF	SE Tucuruí	Transformador	Ensaio de 2tal	15/5/2020	Em Observação 2	30 E
11919400	TVTF4-02	OTF	SE Tucuruí	Transformador	Ensaio de físico-químico do óleo isolante do transformador	6/11/2019	Definido pelo Usuário	7 S

FIGURA 13 – Tela de Cadastro de Monitoramento Especial

A ação cadastrada deve conter data de início do monitoramento, a periodicidade, o motivo desse monitoramento e sua prioridade. Quando em monitoramento o equipamento é acompanhado nas reuniões periódicas da equipe, com prioridade acima dos demais equipamentos não monitorados.

A tela de Gerenciamento de Monitoramento Especial reúne, em um só ambiente, os cadastros das ações de todos os ensaios realizados nos equipamentos monitorados, conforme mostra a Figura 14, o que facilita para a manutenção identificar que equipamentos devem ser tratados de forma diferenciada.

Reg. Id	Localidade	Tipo Equipamento	Cód. Identificação	Id Operacional	Categoria de Ação	Ação	Início	Prioridade	Per. (dia)	Período	Motivo	Observação
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Ensaio físico-químico do óleo isolante de CO	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Ensaio nível de gases combustíveis	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Análise de dados via SAGE	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Outros (Especificar no campo Observação)	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Ensaio de físico-químico do óleo isolante do transformador	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Outros (Especificar no campo Observação)	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Ensaio de gases no óleo isolante do transformador	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Resultado de ensaio	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Inspeção interna no chuveiro construtor de 8	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Definição de projeto / fabricação	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Inspeção de óleo isolante	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Manutenção de rotina de contingência	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Análise de dados via SAGE	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Outros (Especificar no campo Observação)	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Ensaio físico-químico do óleo isolante de CO	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Outros (Especificar no campo Observação)	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Ensaio de COT (semelhante control)	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Contingência devido a corte de carga sem reserva	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Ensaio de físico-químico do óleo isolante de CO	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Suporte de dados interno	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Inspeção da base de montagem do transformador	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Contingência devido a corte de carga sem reserva	Informações incor
11919068	SE Tucuruí	Transformador	11919068	OTF	Ensaio	Ensaio de Contagem de Partículas Dissolvidas	01/15/2020	Definido pelo Usuário	30	30	Equipamento em observação	Informações incor

FIGURA 14 – Gerenciamento de Monitoramento Especial.

4.0 - PAINÉIS DE BORDO - SAC DIANE

Todas as telas e ferramentas apresentadas na sessão 3.0 deste artigo, são utilizadas pelas equipes de O&M da empresa, no entanto há a necessidade da gestão dos indicadores do processo preditivo de óleo pelo corpo gerencial em uma visão completa e clara do seu estado atual. Para este fim foi escolhida a plataforma do SAC (SAP Analytics Cloud) por já possuir a validação de usuário cadastrados no SAP de forma simples e ter controle de

permissões de fácil utilização. Outra vantagem levada em consideração foi não precisar manter um servidor web, visto que sua estrutura está hospedada na nuvem no SAP Instância Única da Eletrobras. Então, através da plataforma de *Business Intelligence* (BI), o Cepel desenvolveu um conjunto mínimo de marcadores de controle de interesse, para ter o máximo de informações gerenciais em poucos elementos gráficos, tornando a tela SAC DianE de fácil interpretação e navegabilidade, conforme mostrado no painel Gestão de Óleo do Sistema de Óleo na Figura 15.

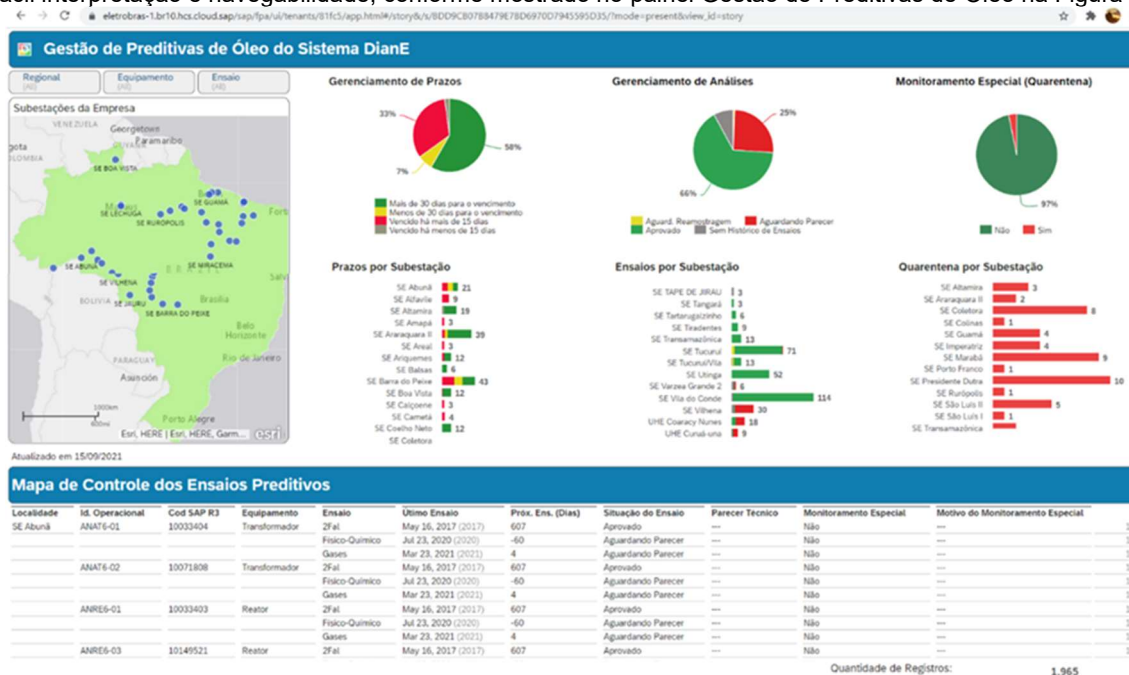


FIGURA 15 – Tela SAC para gestão e controle dos indicadores Preditivos do Óleo do DianE.

Os dois painéis de bordo desenvolvidos, concentram as principais informações de interesse por meio de gráficos, com uma codificação em cores intuitiva que mostram resultados em valores unitários e percentual, além da exibição de uma lista detalhada do item quando se clica em cima de qualquer um dos elementos gráficos coloridos.

No painel Gestão de Preditivas de óleo, na Figura 15, está disponível a situação dos ensaios em relação ao prazo de execução, a situação de análises e os equipamentos em monitoramento especial. Sendo possível fazer filtros por regional, equipamento e tipo de ensaio.

E no Painel de Avisos, mostrado na Figura 16, está disponível a situação dos avisos reconhecidos e ativos, além do histórico de envio de e-mails. Sendo possível fazer filtros por regional, localidade e data de envio de e-mail.

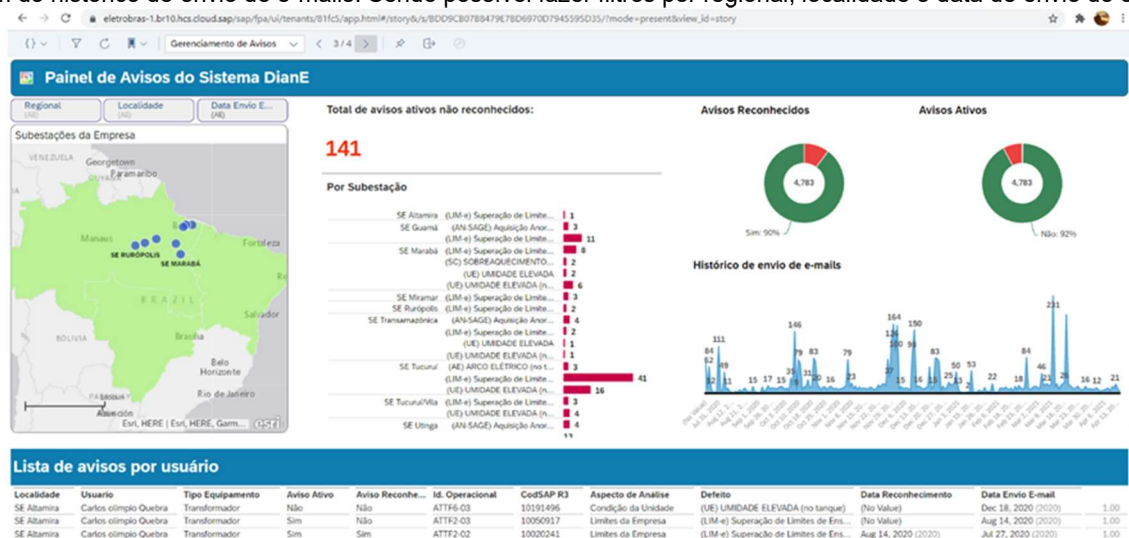


FIGURA 16 – Tela SAC para gestão e controle de avisos e e-mails.

5.0 - RESUMO DA IMPLANTAÇÃO DO PROCESSO

Para que as ferramentas do DianE pudessem ser utilizadas de forma confiável, em uma primeira etapa foram tratadas as questões de sincronização dos dados entre as bases de dados do laboratório (SigLacen) e do DianE,

que foi realizada através do uso do código SAP dos equipamentos. Na etapa seguinte foram aprimoradas as funcionalidades de análise de defeitos, avisos de limites superados e envio automático de e-mails com alertas. E atualizadas as telas de gerenciamento de prazos e de gerenciamento de ensaios visando otimizar a priorização dos equipamentos com prazos vencidos e com ensaios aguardando o parecer por um responsável técnico.

Feitas as validações das funcionalidades, especialmente a de envio automático de e-mails para equipes e gerentes de manutenção em situações de evidência de anormalidade e, testadas todas as telas desenvolvidas, foi realizado um workshop na Regional do Pará para divulgação e início de implantação da nova sistemática de acompanhamento, onde foram designados os responsáveis técnicos em cada uma das cinco divisões de produção da regional. E partir de então, semanalmente são realizadas reuniões de acompanhamento para tratar dos desvios do processo, além da consolidação da sistemática dentro da Regional, conforme ilustrado na Figura 17.

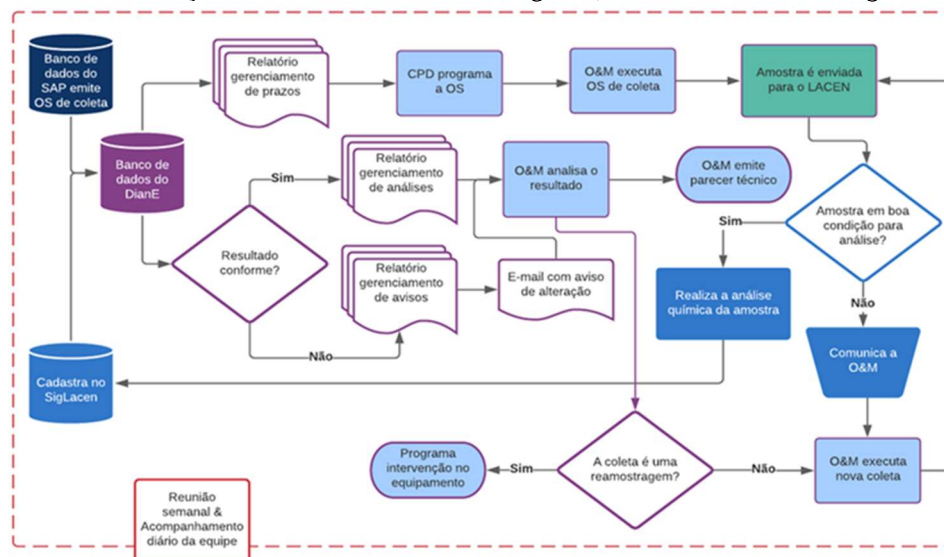


FIGURA 17 – Resumo do processo de manutenção preditiva - ensaios do óleo isolante – com o Diane.

Como produto das reuniões semanais, são geradas atas com os principais pontos de desvios que são obtidos dos Painéis de Bordo da Figura 15 e Figura 16, bem como as deliberações para suas correções. Todos estes acompanhamentos são disponibilizados através de links para todo corpo gerencial, para consultas sempre que necessário.

6.0 - CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A pandemia desencadeou mudanças na forma de gestão dos ativos do setor elétrico, para isso diversos processos e procedimentos tiveram que ser adequados a esta nova forma de trabalho remoto. As expressivas melhorias e novas funcionalidades implementadas do Diane, aliadas a transformação cultural na rotina de trabalho das equipes, contribuíram fortemente para que o sistema se consolidasse como uma poderosa ferramenta de gestão de ativos na Eletronorte, integrando através dos painéis de bordo e reuniões gerenciais o acesso à informação nos seus diferentes níveis organizacionais, desde as áreas gerenciais até as técnicas de execução, engenharias e laboratoriais.

A sistemática de acompanhamento contínuo do processo de análise da manutenção preditiva baseada em ensaios de óleo mineral isolante dos equipamentos de subestação, iniciado com os ensaios de Cromatografia Gasosa, Físico-Químico em transformadores, reatores e comutadores, já incorporou os ensaios de Furfuraldeído e Grau de Polimerização.

Desenvolvida por equipes multidisciplinares, a solução primeiramente utilizada pela Regional do Pará será implantada nas demais Regionais da Eletronorte, por ter comprovado sua relevância ao conseguir estreitar a distância pré-existente entre as diversas áreas envolvidas no processo (O&M, Transporte, Laboratório Químico, Engenharias e Corpo Gerencial) e contribuir na maximização da eficiência no processo de análise dos ensaios periódicos na engenharia de manutenção, proporcionando ganhos aos processos empresariais da Eletronorte.

Como trabalho futuro, pretende-se melhorar a análise preditiva de óleo, utilizando algoritmos de inteligência artificial como classificação, regressão, série temporal ou rede neural para destacar métricas relevantes, detectar registros fora da tendência (outliers) ou prever resultados futuros, com o objetivo de alcançar cada vez mais uma manutenção planejada baseada na condição.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Sistema Diane – Sistema de Análise e Diagnóstico de Equipamentos [software na internet]. Versão 2.1. Rio de Janeiro: Cepel; 2013. [atualizado em set. 2013; acesso em 17 set. 2021]. Disponível em: <http://diane.cepel.br>.
- (2) Centrais Elétricas do Norte - Eletronorte. Instrução Técnica de Manutenção ITM EN-002: Óleo mineral isolante. Especificação, Inspeção, Amostragem e Controle das características. 2008.

(3) Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Resolução Normativa nº 906, de 08 de dezembro de 2020.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Vanessa de Cássia Viana Martins Beltrão é Engenheira Eletricista e Mestra em Engenharia Elétrica na área de Sistemas de Energia pela Universidade Federal do Pará - UFPA. Atualmente é gerente da Divisão de Planejamento e Desempenho da Manutenção nas Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A, Eletrobras-Eletronorte. Tem experiência na área de Transmissão da Energia Elétrica, atuando principalmente nos temas de Gerenciamento da Manutenção, Ensaios Elétricos, Análise de Ocorrências e Pesquisa de Novas Metodologias para Diagnóstico em Equipamentos de Subestação.

Francisco Figueiredo Silva Neto é engenheiro eletricista formado pela UTFPR com MBA em gestão de ativos pela FGV. Possui mais de 15 anos de experiência em gestão de ativos, planejamento de manutenção e diagnóstico de equipamentos da área de transmissão de energia. Atualmente é engenheiro de manutenção elétrica na área de engenharia de manutenção de equipamentos nas Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A Eletrobras-Eletronorte.

Wandré Matos de Medeiros é engenheiro eletricista formado pela Universidade Federal de Goiás – UFG, possui Especialização em Gestão de Inovação Tecnológica pela Unicamp, Mestre em Engenharia Civil com ênfase em Produção – Gestão Orientada por Processos pela Universidade Federal do Pará – UFPA. Foi gerente do Departamento de Manutenção Alta Tensão da Eletrobras Distribuição Amazonas 2015 – 2017. Atualmente atua como Gerente do Departamento de Gestão da Manutenção de Subestações e Linhas de Transmissão na Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A Eletrobras-Eletronorte 2017 - 2021. Possui mais de 15 anos de experiência na gestão de manutenção de ativos de transmissão de energia na Eletrobras Eletronorte.

Clayton Guimarães da Mata é Engenheiro Eletricista e Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF/MG. Desde 2004 atua como pesquisador no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em instalações elétricas e equipamentos elétricos. Seus principais interesses profissionais são: diagnóstico e manutenção de equipamentos elétricos, sistemas para diagnóstico preditivo e monitoramento on-line de equipamentos de subestação de energia elétrica entre outros.

Christian Ducharme recebeu os títulos de Engenheiro Eletricista e Mestre em Engenharia Elétrica, ambos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, em 2001 e 2012, respectivamente. Desde 2001 trabalha como engenheiro no CEPEL, Centro de Pesquisas em Energia Elétrica. Seus principais campos de interesse incluem planejamento do sistema elétrico, otimização matemática, manutenção preditiva e preventiva de equipamentos de subestações, análise da condição de equipamentos de alta tensão, gestão da manutenção e gestão de ativos. Desde 2015 é gerente do Projeto DIANE/CEPEL.

Marcela Pinheiro Moreira possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1999) e mestrado em Engenharia Elétrica pela PUC-RJ. Atualmente é Pesquisadora do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica- CEPEL. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Equipamentos de Subestações de Energia Elétrica.