



PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2021**

PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

1. Projeto	3
2. Relatórios Mensais	54
3. Relatórios de Etapa	323
4. Solicitações de Ajuste	673
5. Processos de Compra	713

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2021**

PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

Projeto

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2021**

Identificação

Título

LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6 COM MONITORAÇÃO DE LINHAS ADJACENTES

Gerente do projeto

CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA
[REDACTED]

Coordenador do projeto

GERMANO LAMBERT TORRES
[REDACTED]

Gerente do programa

[REDACTED]
[REDACTED]

Empresa proponente

Razão social: COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.

Nome fantasia: COPEL GET

Empresa(s) executora(s)

Razão social: INSTITUTO GNARUS

Nome fantasia: GNARUS

Duração do projeto

[REDACTED]

Valor total contratante

[REDACTED]

Valor total contratada

[REDACTED]

Valor total projeto

[REDACTED]

Resumo

Este projeto visa auxiliar no processo de detecção e localização de faltas internas em subestações blindadas a SF6, bem como monitorar LTs. Via um conjunto de sensores e algoritmos de processamento de sinais é possível determinar em qual compartimento o curto-circuito ocorreu, e ainda, acompanhar a operação das LTs. O conjunto de sensores utilizado será composto por alguns próprios e outros do sistema de medição existente. Todos coletando dados de maneira on-line e completamente não invasiva, que forma de não afete em nada o funcionamento da subestação e nem prejudique a sua garantia. Os algoritmos de processamento de sinais serão feitos baseados em técnicas inteligentes híbridas, misturando técnicas de redes neurais plásticas profundas convolucionais, processamento estatísticos de ordem superior e técnicas de raciocínio baseados em casos. O sistema desenvolvido (hardware e software) será testado em laboratório e será instalado em uma SE da COPEL.

PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

Relatórios Mensais

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2021**

PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

Relatórios de Etapa

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2021**

PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

**Relatório da Etapa 01: Revisão
Bibliográfica**

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAITON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2020**

INSTITUTO GNARUS

CNPJ/MF 07.863.331/0001-02

Rua Cel. Francisco Braz, 185 - Sala 302 - Centro, Itajubá - MG, 37500-052

PD-06491-0513/2018 LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6 COM MONITORAÇÃO DE LINHAS ADJACENTES

Relatório da Etapa 01: Revisão Bibliográfica

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2020**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	DESENVOLVIMENTO DA ETAPA.....	11
2.1	DESENVOLVIMENTOS POR ÁREA DE ATUAÇÃO	11
2.2	OBJETIVOS DO PROJETO.....	12
2.3	ESTADO DA ARTE E TRABALHOS CORRELATOS	13
2.3.1	Revisão dos principais trabalhos sobre localização de defeitos em subestações blindadas.....	14
2.3.2	Revisão dos principais trabalhos sobre redes neurais profundas	16
2.3.3	Revisão dos projetos de P&D da ANEEL para outras empresas	16
2.3.4	Revisão dos projetos correlatos desenvolvidos por este grupo de pesquisa...	17
3	REVISÃO SOBRE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO SF6	19
3.1	OPERAÇÃO DE SUBESTAÇÃO ISOLADA DE GÁS.....	19
3.1.1	Operação dos disjuntores na subestação	20
3.1.2	Operação das seccionadoras na subestação	20
3.1.3	Operação de chaves de aterramento na subestação	21
3.1.4	Operação de transformadores de instrumentos na subestação	23
3.1.5	Janelas de visualização da subestação.....	24
3.2	CÂMARAS E ZONAS DE GÁS.....	25
3.3	PRINCÍPIOS DE INTERTRAVAMENTO	26
3.3.1	Gabinetes de controle local	28
3.3.2	Alarmes de uma SIG	30
3.3.3	Exemplo de comutação de SIG	31
3.3.4	Complementos sobre a operação de uma SIG	34
3.4	MANUTENÇÃO EM UMA SIG.....	34

3.4.1	Processos típicos de manutenção	34
3.4.2	Reparando vazamento de gás SF6.....	37
4	INSTALAÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO ISOLADA DE GÁS.....	43
4.1	ITENS NECESSÁRIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE UMA EXTENSÃO	44
4.1.1	Quando uma extensão é antecipada na fase inicial do projeto.....	44
4.1.2	Quando uma extensão não foi planejada na fase inicial do projeto	44
4.2	CONTINUIDADE DE SERVIÇOS DURANTE A OPERAÇÃO DE EXTENSÃO	45
4.3	TESTE DE INTERFACE.....	46
4.4	ATUALIZAÇÃO DE UMA SIG.....	46
4.4.1	Problemas com instalações antigas da SIG	47
4.4.2	Modificação (Retrofit) de uma SIG	47
4.5	LIMITES OPERATIVOS DE UMA SIG	49
4.5.1	Limites térmicos e sobrecarga da SIG	49
4.5.2	Projeto de corrente de classificação contínua	50
4.5.3	Definindo os limites de uma SIG	51
4.5.4	Corrente máxima de carga contínua	52
4.5.5	Capacidade de sobrecarga de curto prazo	53
4.5.6	Calculando sobrecargas.....	54
5	REVISÃO SOBRE REDES NEURAIS PROFUNDAS	57
5.1	EXEMPLOS DE INFERÊNCIA	57
5.2	EXEMPLOS DE INFERÊNCIA	59
5.3	APRENDIZADO DE MÁQUINA	60
5.4	APRENDIZADO PROFUNDO.....	62
5.5	MEDIÇÃO DE PROFUNDIDADE DE UM MODELO	64
5.6	TENDÊNCIAS HISTÓRICAS EM APRENDIZAGEM PROFUNDA	68
5.6.1	Primeira onda	70

5.6.2	Segunda onda.....	74
5.6.3	Terceira onda	76
5.7	AUMENTANDO OS TAMANHOS DO CONJUNTO DE DADOS E DOS MODELOS.....	77
5.7.1	Evolução dos exemplos dos conjuntos de dados	77
5.7.2	Evolução do tamanho dos modelos.....	80
5.7.3	Aumento da precisão, complexidade e impacto do mundo real	83
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	87
7	REFERÊNCIAS	89
7.1	REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 2.....	89
7.2	BIBLIOGRAFIAS DO CAPÍTULO 3	92
7.3	BIBLIOGRAFIAS DO CAPÍTULO 4	93
7.4	REFERÊNCIAS DO CAPÍTULO 5.....	94

PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

**Relatório da Etapa 02: Estudo do
Funcionamento da Subestação
Blindada da COPEL**

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2020**

INSTITUTO GNARUS

CNPJ/MF 07.863.331/0001-02

Rua Cel. Francisco Braz, 185 - Sala 302 - Centro, Itajubá - MG, 37500-052

PD-06491-0513/2018 LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6 COM MONITORAÇÃO DE LINHAS ADJACENTES

Relatório da Etapa 02: Estudo do Funcionamento da Subestação Blindada da COPEL

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2020**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	DESENVOLVIMENTO DA ETAPA.....	13
2.1	OBJETIVOS DO PROJETO.....	13
2.2	DESENVOLVIMENTOS POR ÁREA DE ATUAÇÃO	14
3	ESTUDO DA SUBESTAÇÃO CURITIBA ELK04 145 KV	19
3.1	DISJUNTOR TIPO ELK-CB0.....	19
3.1.1	Mecanismo Operacional da Câmara de Interrupção.....	21
3.1.2	Dados Técnicos	22
3.1.3	Diagramas Operacionais	23
3.2	MECANISMO OPERACIONAL DO DISJUNTOR TIPO HMB	25
3.2.1	Módulos de componentes do mecanismo operacional	25
3.2.2	Comissionamento	25
3.2.3	Instruções para a operação	27
3.2.4	Verificações.....	29
3.2.5	Torques de aperto para parafusos.....	30
3.3	DISJUNTOR HMB-1 E HMB-2	31
3.3.1	Princípio de Funcionamento do Mecanismo Operacional	31
3.3.2	Operando Manualmente o Mecanismo Operacional.....	33
3.3.3	Mecanismo de operação do disjuntor HMB-1.....	35
3.3.4	Mecanismo de operação do disjuntor de dados técnicos.....	37
3.3.5	Mecanismo de operação do disjuntor HMB-2.....	40
3.4	RELÉ DE DENSIDADE DE GÁS	44
3.4.1	Princípio de Projeto e Operação	45
3.5	CHAVE SECCIONADORA / ATERRADA TIPO ELK-DE0 / 520	46

3.5.1	Princípio de Projeto e Operação do Dispositivo.....	46
3.5.2	Mecanismo Operacional	50
3.5.3	Dados Técnicos.....	58
3.5.4	Diagrama Operacional.....	63
3.6	CHAVE SECCIONADORA / ATERRADA TIPO ELK-DE0 / 735.....	63
3.6.1	Projeto e Princípio de Operação do Dispositivo.....	64
3.6.2	Mecanismo Operacional	67
3.6.3	Dados Técnicos.....	75
3.7	CHAVE DE ATERRAMENTO TIPO ELK-EB0/735	81
3.7.1	Mecanismo Operacional	83
3.7.2	Intertravamento	84
3.7.3	Controle local manual	87
3.7.4	Dados Técnicos.....	92
3.8	CHAVE DE ATERRAMENTO COM CAPACIDADE DE CRIAÇÃO DE CURTO-CIRCUITO TIPO ELK-ES0 / 520.....	96
3.8.1	Projeto e Princípio de Operação do Dispositivo.....	97
3.8.2	Princípio de Projeto e Operação do Drive.....	98
3.8.3	Dados Técnicos.....	103
3.8.4	Diagrama Operacional.....	106
3.9	TRANSFORMADOR DE CORRENTE INTEGRADO.....	106
3.10	TRANSFORMADOR DE TENSÃO INDUTIVO	108
3.10.1	Princípio de Projeto e Operação	108
3.10.2	Dados Técnicos.....	109
3.11	AQUECEDOR ANTI-CONDENSAÇÃO	110
4	ESTUDO DA SUBESTAÇÃO CURITIBA ELK14 245 KV	117
4.1	TIPO DISJUNTOR ELK-SP14.....	117

4.1.1	Informações gerais.....	117
4.1.2	Projeto do disjuntor	118
4.1.3	Manutenção	123
4.2	DESCONECTADOR/EARTHING SWITCH TIPO ELKDE0.....	123
4.2.1	Informações gerais.....	123
4.2.2	Projeto do Seccionador/Chave de aterramento.....	124
4.2.3	Mecanismo operacional.....	127
4.2.4	Operação Manual (Tensão de Controle Presente)	129
4.2.5	Bloqueio	134
4.2.6	Manutenção.....	135
4.3	CHAVE DE ATERRAMENTO COM CAPACIDADE DE CRIAÇÃO DE CURTO-CIRCUITO TIPO ELK-ES 0.....	135
4.3.1	INFORMAÇÕES GERAIS	135
4.3.2	Projeto da chave de aterramento com capacidade de fazer curto-circuito...	136
4.3.3	Mecanismo operacional.....	137
4.3.4	Intertravamento.....	138
4.3.5	Intertravamento de manivela	138
4.3.6	BLOQUEIO DE POSIÇÃO DO INTERRUPTOR	139
4.3.7	Controle local manual	140
4.3.8	Controle manual (Controle de tensão Presente).....	140
4.3.9	Controle manual (Controle de tensão Ausente).....	141
4.3.10	Intertravamento de posição	143
4.3.11	Cadeado	143
4.3.12	Bloqueio de cilindro	144
4.4	CONEXÃO DO BARRAMENTO	145
4.4.1	Informações gerais.....	145

4.4.2	Descrição	146
4.5	ELEMENTO DE COTOVELO ELK-VW14	147
4.5.1	Informação geral	147
4.5.2	Descrição	148
4.6	MÓDULO T E X	149
4.6.1	Informação geral	149
4.6.2	Manutenção	150
4.7	DIVISOR COM TRANSFORMADOR DE CORRENTE INTEGRADO ELK-VY14	150
4.7.1	Informações gerais	150
4.7.2	Descrição	151
4.7.3	Manutenção	153
4.8	TAMPA FINAL	154
4.8.1	Informações gerais	154
4.8.2	Descrição	155
4.8.3	Manutenção	156
4.9	MONITOR DE DENSIDADE ELK-WT14	156
4.9.1	Informações gerais	156
4.9.2	Descrição	157
4.9.3	Manutenção	158
4.10	DISPOSITIVO DE ALÍVIO DE PRESSÃO ELK-XA14	159
4.10.1	Informações gerais	159
4.10.2	Descrição	160
4.10.3	Manutenção	162
4.10.4	Revisão.....	162
4.11	ISOLADOR DE BARREIRA E SUPORTE	163
4.12	BUCHA COM ISOLADOR COMPOSTO TIPO ELK-HB14.....	165

4.12.1	Informações gerais.....	165
4.12.2	Descrição.....	167
4.12.3	Manutenção.....	167
4.13	TRANSFORMADOR DE TENSÃO ELK-PI 04.....	168
4.13.1	Informações gerais.....	168
4.13.2	Descrição.....	169
4.13.3	Manutenção.....	170
4.14	DIVISOR DE SAÍDA ELK HKK-HKY14 E CONEXÃO DE CABO (IEC) ELK HK14IN.....	170
4.14.1	Informações gerais.....	170
4.14.2	Descrição.....	171
4.14.3	Manutenção.....	172

PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

**Relatório da Etapa 03: Estudo da
Observabilidade da Subestação**

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2021**

INSTITUTO GNARUS

CNPJ/MF 07.863.331/0001-02

Rua Cel. Francisco Braz, 185 - Sala 302 - Centro, Itajubá - MG, 37500-052

PD-06491-0513/2018 LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6 COM MONITORAÇÃO DE LINHAS ADJACENTES

Relatório da Etapa 03: Estudo da Observabilidade da Subestação

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA / ITAJUBÁ
2021**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	DESENVOLVIMENTO DA ETAPA.....	9
2.1	OBJETIVOS DO PROJETO.....	9
2.2	DESENVOLVIMENTOS POR ÁREA DE ATUAÇÃO	10
3	HISTÓRICO DA OBSERVABILIDADE EM SUBESTAÇÕES.....	13
4	EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DIGITAIS EM SUBESTAÇÕES	17
4.1	SISTEMA SCADA - “ESTIMADORES DE ESTADO”	19
4.2	DIGITALIZAÇÃO DE SUBESTAÇÕES	21
4.2.1	Proteção e Controle em uma SE Digitalizada	21
4.3	SISTEMAS INTELIGENTES DE CONTROLE	24
5	SISTEMAS DIGITAIS EM SUBESTAÇÕES	29
5.1	SUBESTAÇÃO ELK-14 245KV	29
5.1.1	Disjuntor.....	29
5.1.2	Chave Seccionadora / Aterramento	30
5.1.3	Chave de Aterramento com Capacidade de Criação de Curto-Circuito	31
5.1.4	Conexão de Barramento	31
5.1.5	Elemento de Cotovelo.....	32
5.1.6	Módulo T.....	33
5.1.7	Divisor com Transformador de Corrente Integrado e Transformador de Tensão 33	
5.1.8	Bucha com Isolador Composto	34
5.1.9	Divisor de Saída e Conexão de Cabo.....	35
5.2	SUBESTAÇÃO ELK-14 245KV	35
5.2.1	Disjuntor.....	36

5.2.2	Chave Seccionadora / Aterramento	37
5.2.3	Chave de Aterramento com Capacidade de Curto-Circuito.....	37
5.2.4	Transformador de Corrente Integrado e Transformador de Tensão Indutivo .	38
5.2.5	Elemento de Cotovelo	39
5.2.6	Bucha com Isolador Composto.....	39
6	TEORIA DOS CONJUNTOS APROXIMADOS	41
6.1	CONCEITOS BÁSICOS.....	42
6.2	PROPRIEDADES OPERACIONAIS.....	44
6.3	EXEMPLO ILUSTRATIVO	45
6.4	ATRIBUTOS DISPENSÁVEIS E ATRIBUTOS INDISPENSÁVEIS.....	48
7	PROPOSTA DO CLASSIFICADOR DE OBSERVABILIDADE UTILIZANDO CONJUNTOS APROXIMADOS	49
7.1	CONCEITOS DE CONJUNTO REDUÇÃO E NÚCLEO BÁSICO	49
7.2	APRESENTAÇÃO DO ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO	50
7.2.1	Aplicação do Algoritmo em uma Subestação com Pontos de Medida Hipotéticos 51	
7.2.2	Resultado Final	56
7.3	APLICAÇÃO DO ALGORITMO EM UM SISTEMA ELÉTRICO.....	57
7.3.1	Redução de uma Base de Dados	60
7.3.2	Procedimento Operacional do Algoritmo	62
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

Solicitações de Ajuste

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2021**

PD-06491-0513/2018

**LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM
SUBESTAÇÕES BLINDADAS DE SF6
COM MONITORAÇÃO DE LINHAS
ADJACENTES**

Processos de Compra

Ano 1

DOCUMENTO RESTRITO

**CLAILTON LEOPOLDO DA SILVA – COPEL GeT
GERMANO LAMBERT-TORRES - INSTITUTO GNARUS**

**CURITIBA – ITAJUBÁ
2021**