

Subestação Digital: Lições aprendidas pela CPFL

2023



CPFL Energia

mais de **15 mil colaboradores**
em todo território nacional

Um dos líderes em geração de
energia renovável com **96%**

2ª Maior distribuidora do Brasil com **R\$ 3 bi** investidos em **automação e melhoria** da rede para **10,2 milhões** de clientes

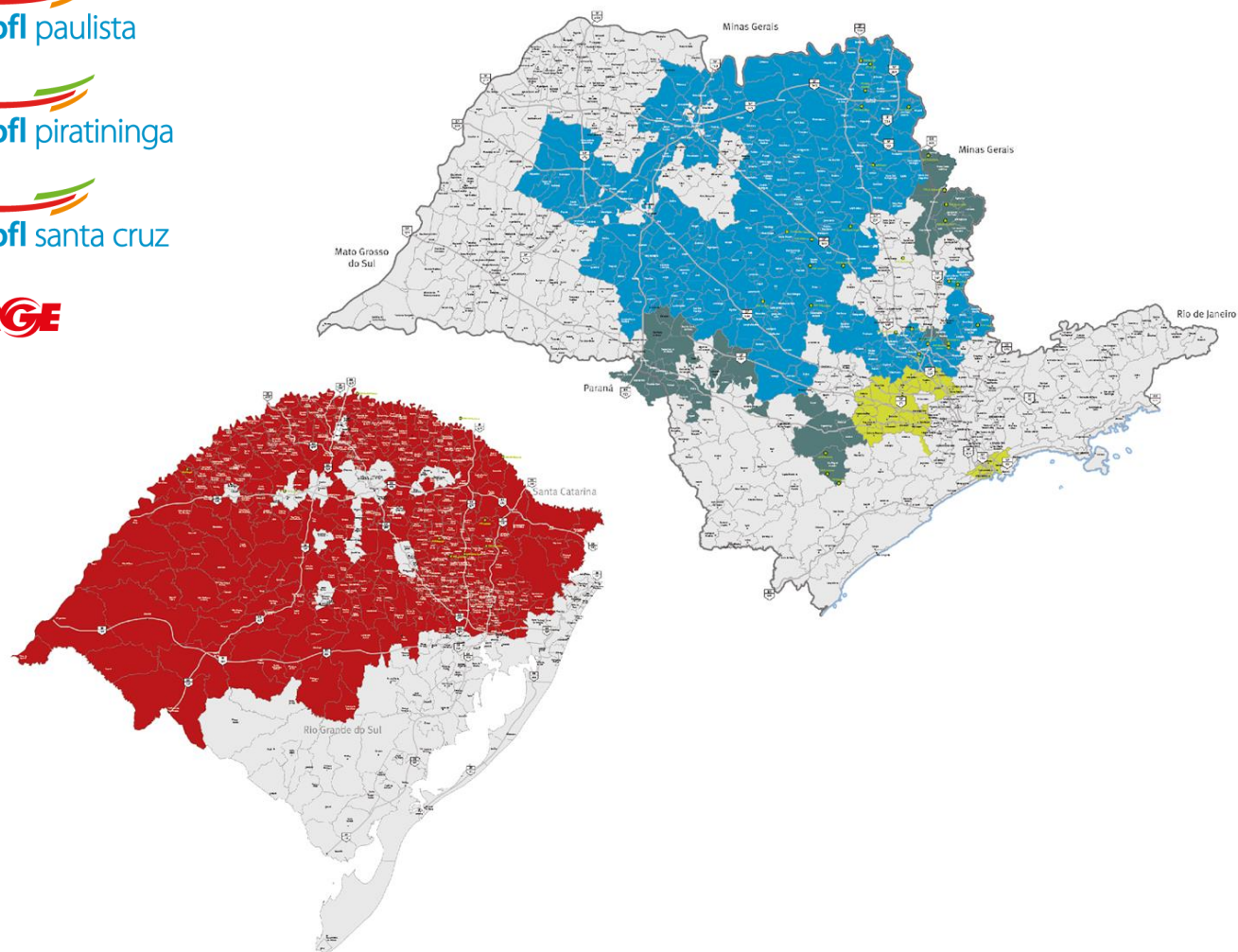
É líder **na comercialização de energia incentivada** para clientes livres

Está entre os **maiores investidores brasileiros em arte e cultura** com **R\$ 31,4 mi** investidos pelo Instituto CPFL, beneficiando **564 mil pessoas** e **325 hospitais**

109 anos



Nossa atuação **DISTRIBUIÇÃO**



- **4** distribuidoras
- **687** municípios
- **13,1 mil** quilômetros de linhas de distribuição
- Vice-lider do mercado
14% de Market Share
- **10,2 milhões de clientes** atendidos

Nossos indicadores técnicos...

Desempenho e ranking ANEEL em 2022:

- "Das empresas de grande porte, **a campeã** foi a Companhia Jaguari de Energia (**CPFL SANTA CRUZ, SP**)..."
- "A **distribuidora que mais evoluiu** em 2022 foi a **CPFL PAULISTA (SP)**, com um avanço de 11 posições, seguida por **CPFL PIRATININGA (SP)** e **CPFL SANTA CRUZ (SP)**, que melhoraram, respectivamente, 8 e 4 posições em comparação ao ano de 2021."

Prêmio ANEEL Satisfação do Consumidor em 2022:

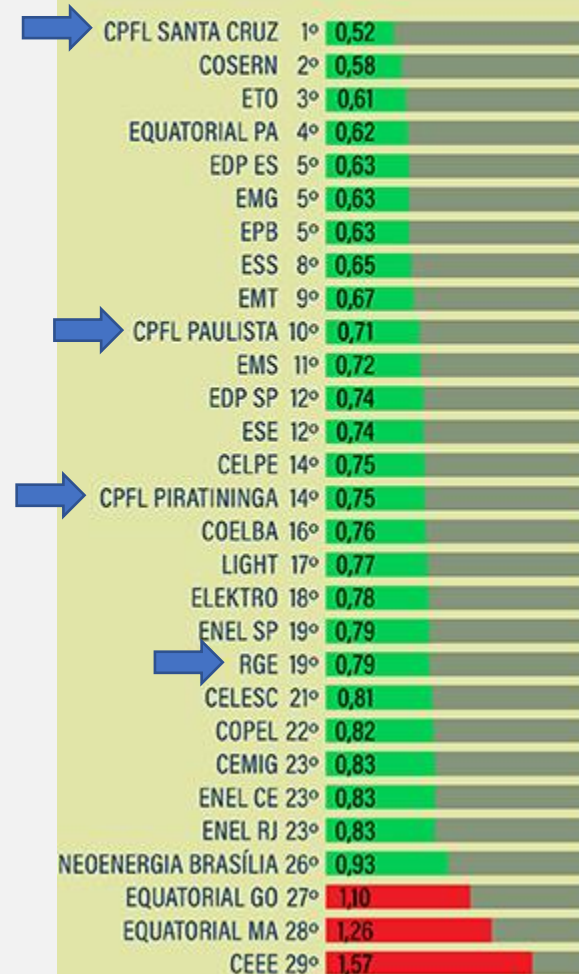
- REGIÃO SUL ACIMA DE 400 MIL UNIDADES CONSUMIDORAS - RGE
- BRASIL CONCESSIONÁRIAS ACIMA DE 400 MIL UNIDADES CONSUMIDORAS – CPFL Santa Cruz

Fonte: Site da ANEEL publicado em 29/03/2023 e em 24/05/2023 12h22
Desempenho Global de Continuidade (DGC)

CONCESSIONÁRIAS DE GRANDE PORTE

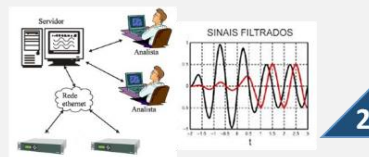
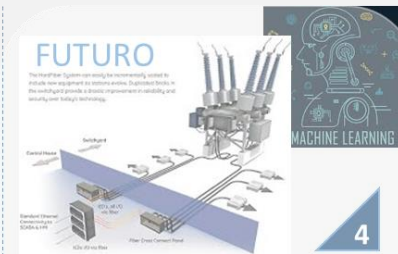
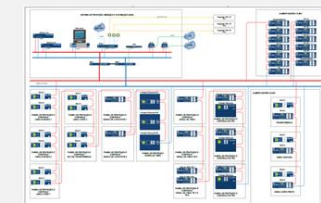
(mais de 400 mil unidades consumidoras)

Quanto menor o DGC, melhor a avaliação da empresa



Diversidade de Sistemas e Padrões em Subestações

- Sistemas de proteção e controle **legados de 4 empresas** com **diferentes padrões** de subestações
- Adoção de **normas internacionais** (IEC e IEEE) na definição do **Roadmap de Digitalização**
- Busca da **excelência operacional** com recursos avançados de automação e controle (**impacto FEC**)



Coleta remota de oscilografia e eventos

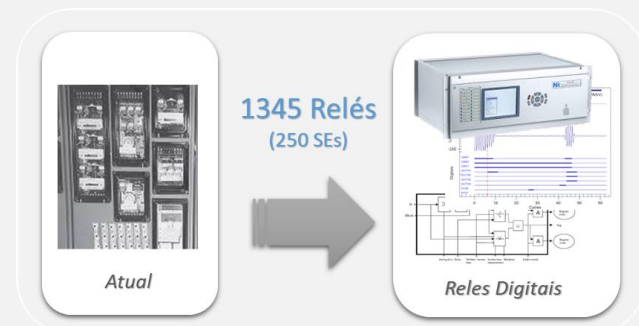
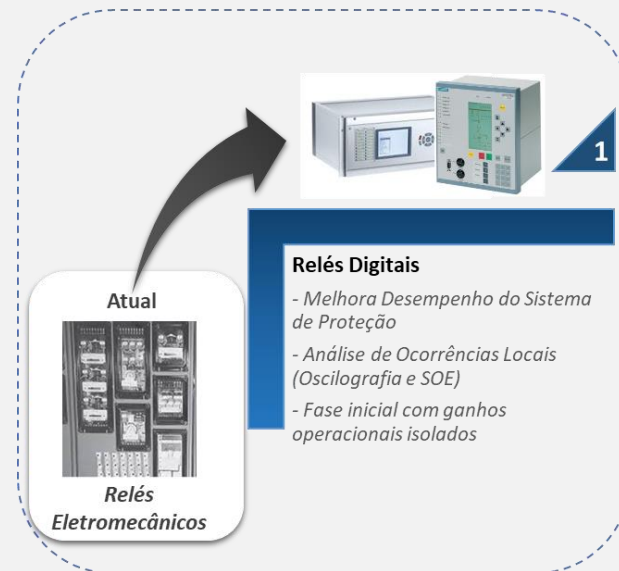
- Análise Eventos e Oscilografia Remotamente
- Melhoria na Gestão dos Ativos de Proteção e Controle
- Fase intermediária com ganhos operacionais em rede

Digitalização da Subestação

- Integração total com o Concentrador
- Implementação de Automação e Intertravamento
- Padrão adotado atualmente em subestação novas

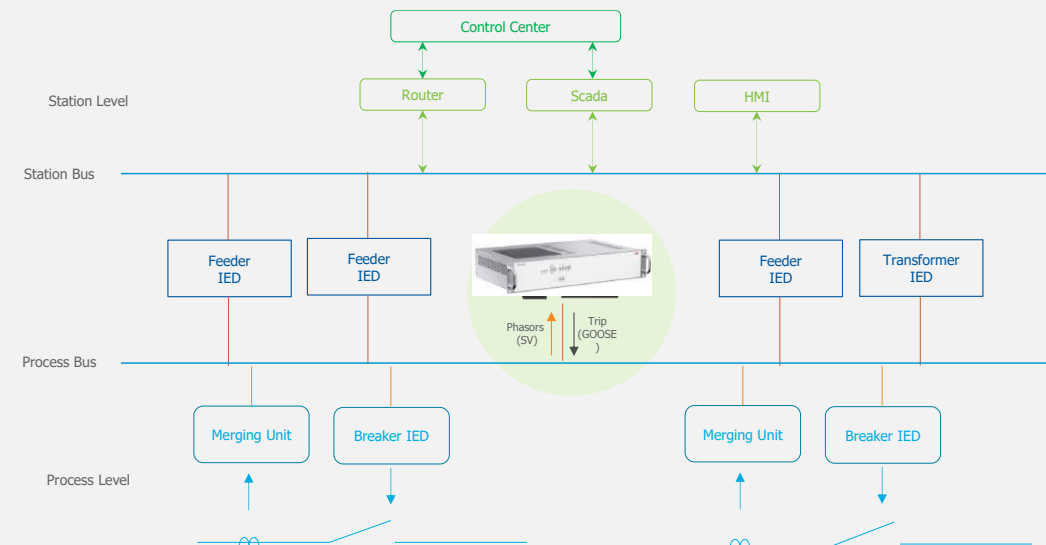
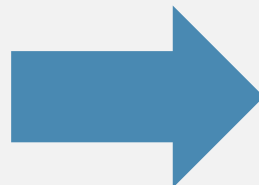
Smart Substation

- Full Digitalização do Sistema de Proteção e Controle (Process Bus)
- Implementação de Automatismos Avançados e Inteligentes
- Em fase de Testes Pilotos e Desenvolvimento Técnico



Projeto de Digitalização de Sinais e Controle

- **Redução** do uso de **cabos de cobre**, mitigando **custos de implantação e manutenção (furtos)**.

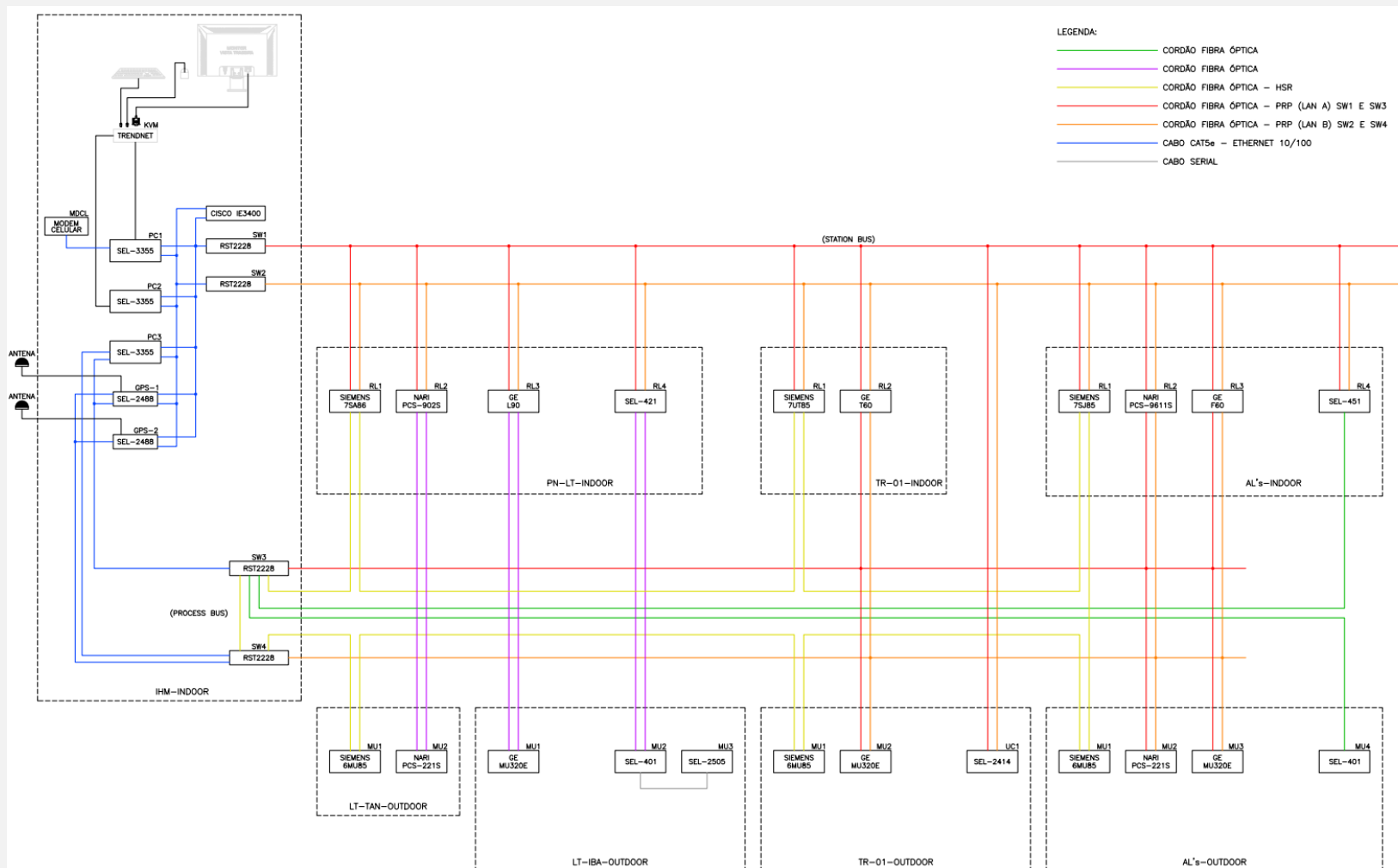


- **Sistemas Digitais** Padronizados, Seguros e Monitorados, habilita a exploração do uso da **Inteligência Artificial**, com foco em **diagnóstico e previsão de ocorrências**.



Projeto de Digitalização de Sinais e Controle

- Projeto Piloto implantado na **SE Campinas 2 – Souza**.
- Subestação típica de distribuição com duas linhas, um Trafo e quatro alimentadores.



Projeto de Digitalização de Sinais e Controle

- Planilha de apoio para testes de comunicação.

ORIGEM															DESTINO					
FABRICAN	TESTE	Tipo	GOOSE/SV ID	CONTROL BLOCK	MAC	VLAN	VLAN (decin)	VLAN Priori	APP ID	PUBLSHER	DATASE	LI	LN	DC	DA	SUBSCRIBER	EQUIPAMENTO	ENDEREÇO INTERNO	DESCRIÇÃO	OBS.
SIEMENS	TESTADOTAC	SV	SV1	MSVCB01	01-0C-CD-04-00-01	0xBB9	3001	4	0x4BB9	LTTAN_MU1	PhsMeas3	PROT	IO1ATCTR1	AmpSv	instMag	LTTAN_RL1	DJ-05	TCTR1	Corrente Fase A	
SIEMENS	TESTADOTAC	SV	SV1	MSVCB01	01-0C-CD-04-00-01	0xBB9	3001	4	0x4BB9	LTTAN_MU1	PhsMeas3	PROT	IO1BTCTR2	AmpSv	instMag	LTTAN_RL1	DJ-05	TCTR2	Corrente Fase B	
SIEMENS	TESTADOTAC	SV	SV1	MSVCB01	01-0C-CD-04-00-01	0xBB9	3001	4	0x4BB9	LTTAN_MU1	PhsMeas3	PROT	IO1CTCTR3	AmpSv	instMag	LTTAN_RL1	DJ-05	TCTR3	Corrente Fase C	
SIEMENS	TESTADOTAC	SV	SV1	MSVCB01	01-0C-CD-04-00-01	0xBB9	3001	4	0x4BB9	LTTAN_MU1	PhsMeas3	PROT	IO1NTCTR4	AmpSv	instMag	LTTAN_RL1	DJ-05	TCTR4	Coorente de Neutro	
SIEMENS	TESTADOTAC	SV	SV1	MSVCB01	01-0C-CD-04-00-01	0xBB9	3001	4	0x4BB9	LTTAN_MU1	PhsMeas3	PROT	U01AVTR1	VolSv	instMag	LTTAN_RL1	BARRA 69 Kv	TVTR1	Tensão de Fase A-N	
SIEMENS	TESTADOTAC	SV	SV1	MSVCB01	01-0C-CD-04-00-01	0xBB9	3001	4	0x4BB9	LTTAN_MU1	PhsMeas3	PROT	U01BVTR2	VolSv	instMag	LTTAN_RL1	BARRA 69 Kv	TVTR2	Tensão de Fase B-N	
SIEMENS	TESTADOTAC	SV	SV1	MSVCB01	01-0C-CD-04-00-01	0xBB9	3001	4	0x4BB9	LTTAN_MU1	PhsMeas3	PROT	U01CVTR3	VolSv	instMag	LTTAN_RL1	BARRA 69 Kv	TVTR3	Tensão de Fase C-N	
SIEMENS	TESTADOTAC	SV	SV1	MSVCB01	01-0C-CD-04-00-01	0xBB9	3001	4	0x4BB9	LTTAN_MU1	PhsMeas3	PROT	TVTR1	VolSv	instMag	LTTAN_RL1	LT Tanquinho	TVTR5	Tensão de Fase A-N	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	XCBR1	pos	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxPos.open	DJ-05 Aberto	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	XCBR1	pos	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxPos.close	DJ-05 Fechado	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi13	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi13	DJ-05 LR	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi14	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi14	Falta CC CMD	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi15	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi15	Falta CC Motor	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi16	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi16	Mola Descarregada	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi17	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi17	Def Bobina 1	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi18	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi18	Def Bobina 2	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi21	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi21	SF61	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi22	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi22	SF62	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	XSWI3	pos	stVal	LTTAN_RL1	29-02	GI.Rxpos.open	29-02 Aberto	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	XSWI3	pos	stVal	LTTAN_RL1	29-02	GI.RxPos.close	29-02 Fechado	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi32	stVal	LTTAN_RL1	TP LT	GI.RxBi32	Mini DJ TP LT Aberto	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi33	stVal	LTTAN_RL1	TP BARRA	GI.RxBi33	Mini DJ TP BARRA Aberto	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	XSWI1	pos	stVal	LTTAN_RL1	29-38	GI.RxBi34	29-38 Aberta	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	XSWI1	pos	stVal	LTTAN_RL1	29-38	GI.RxBi35	29-38 Fechada	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	XSWI2	pos	stVal	LTTAN_RL1	29-36	GI.RxBi36	29-36 Aberta	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	XSWI2	pos	stVal	LTTAN_RL1	29-36	GI.RxBi37	29-36 Fechada	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi38	stVal	LTTAN_RL1		GI.RxBi38	RESERVA	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi39	stVal	LTTAN_RL1		GI.RxBi39	RESERVA	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi310	stVal	LTTAN_RL1		GI.RxBi310	RESERVA	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi311	stVal	LTTAN_RL1	LTTAN_MU1/MU2	GI.RxBi311	FALTA CC	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi312	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi312	Relé auxiliares	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi313	stVal	LTTAN_RL1	DJ-05	GI.RxBi313	Circuito CC reserva	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi314	stVal	LTTAN_RL1	LTTAN_MU2	GI.RxBi314	FLTCC MU2	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi315	stVal	LTTAN_RL1	PLT1X	GI.RxBi315	PORTA ABERTA PLT1X	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	BIGGIO1	Bi316	stVal	LTTAN_RL1	LTTAN_MU2	GI.RxBi316	WATCHDOG MU2	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	PROT	LLNO	Beh	stVal	LTTAN_RL1	LTTAN_MU1	GI.RxBeh	LTTAN_MU1 MODO OPERACAO	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	PROT	LPHD1	Sim	stVal	LTTAN_RL1	LTTAN_MU1	GI.RxSim	LTTAN_MU1 MODO SIMULATION	
SIEMENS	TESTADOTAC	GOOSEPB	GOOSE1	GoosePB	01-0C-CD-01-00-01	0x3E9	1001	5	0x03E9	LTTAN_MU1	GoosePB	CTRL	GOGGIO1	GO1	stVal	LTTAN_RL1	LTTAN_MU1	GI.RxGO1	LTTAN_RL1 FALHA GOOSE	

Projeto de Digitalização de Sinais e Controle

- Características de cada fabricante - 2021

	Vendor 1	Vendor 2	Vendor 3	Vendor 4
PRP (station bus)	X*	X	X	X
PRP (process bus)	X*	X	X	
HSR (station bus)			X	
HSR (process bus)	X*		X	
Conexão ponto-a-ponto	X	X	X	X**
IEC 61850 edição 2.0	X	X	X	X
IEC 61850 edição 2.1			X	
Sampled Values (IEC 61850-9-2LE)	X	X	X	X
Sampled Values (IEC61869-9)	X		X	
IEEE1588v2 / PTP (slave clock)	X	X	X	X
IEEE1588v2 / PTP (boundary clock)		X	X	
IEEE1588v2 / PTP (power system)	X	X	X	X
IEEE1588v2 / PTP (utility automation)	X	X	X	X

* Os IEDs não suportam trabalhar com PRP, HSR e uma combinação entre PRP\HSR simultaneamente nas redes station bus e process bus.

** Neste tipo de conexão é possível utilizar apenas 1 stream de sampled values se a MU não for sincronizada por uma fonte externa.

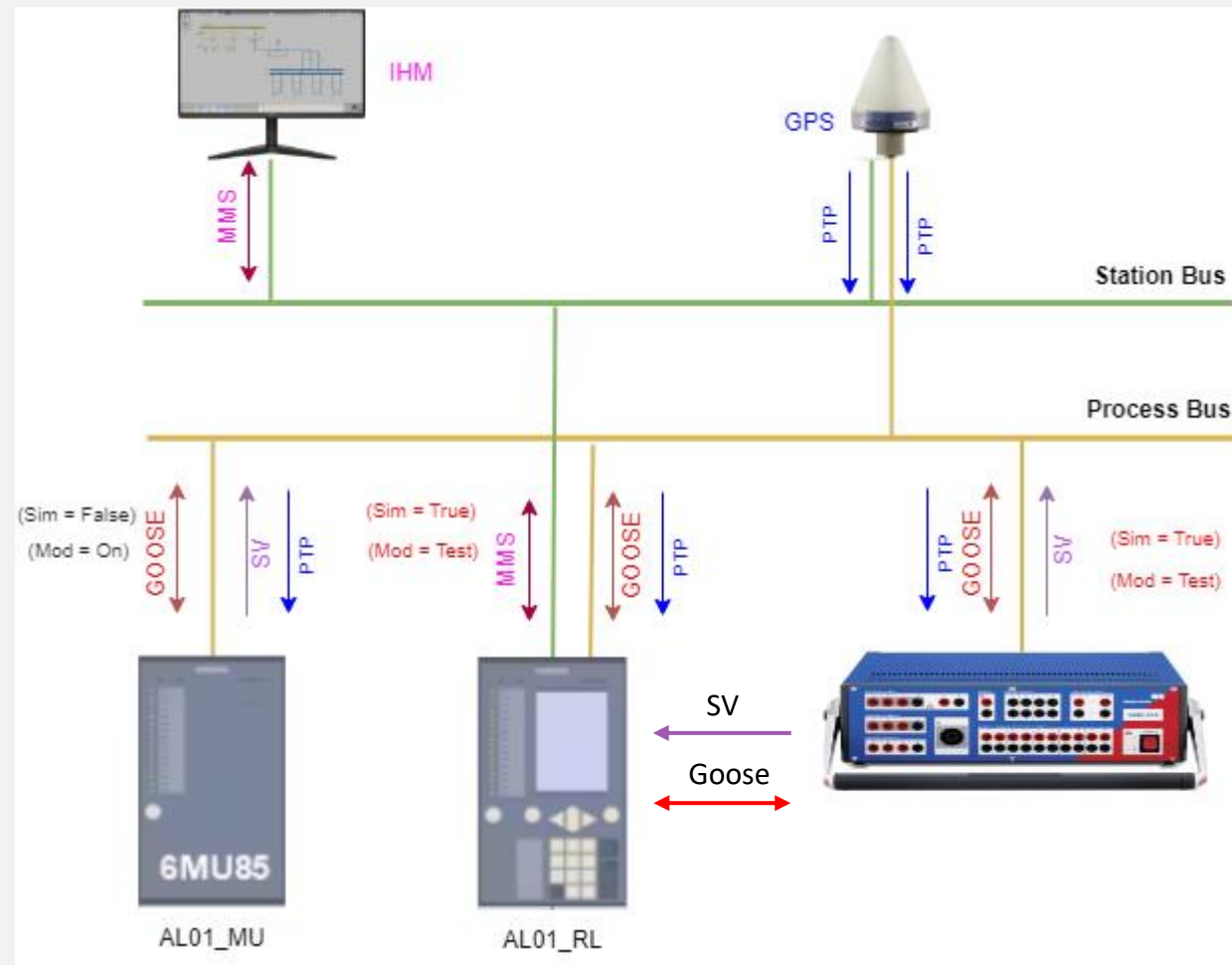
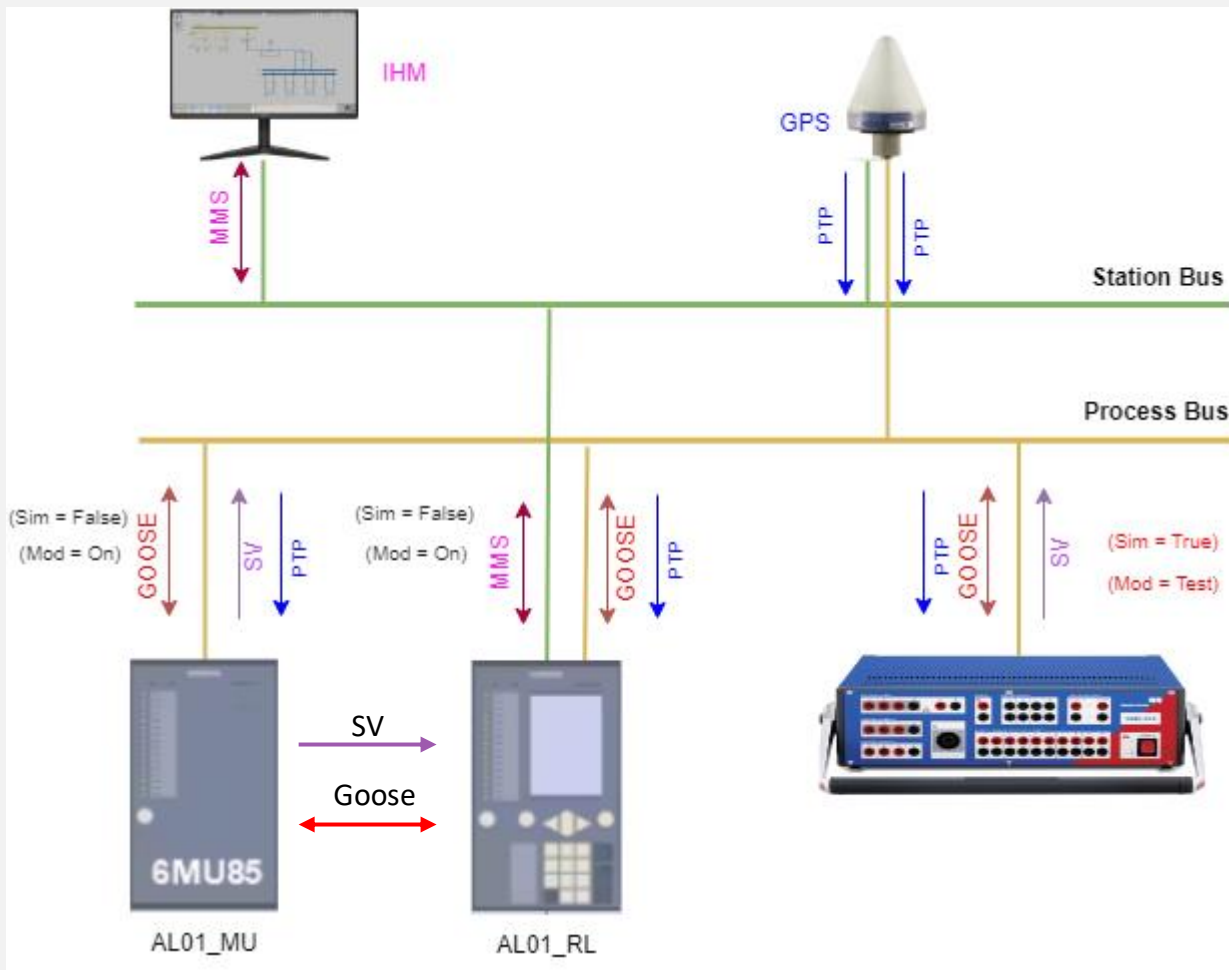
Projeto de Digitalização de Sinais e Controle

- Modo de operação dos relés e Merging Units - RESUMO

	Relé (On)	Relé (Blocked)	Relé (Test)	Relé (Test/Blocked)
MU (On)	Operação Normal	Outs IED Bloqueadas	MU não processa os dados do IED	- MU não processa os dados do IED - Outs IED Bloqueadas
MU (Blocked)	Outs MU Bloqueadas	Outs IED e MU Bloqueadas	- MU não processa os dados do IED - Outs MU Bloqueadas	- MU não processa os dados do IED - Outs IED e MU Bloqueadas
MU (Test)	IED não processa os dados da MU	- IED não processa os dados da MU - Outs IED Bloqueadas	Relé e MU processando todos os dados, porém com sinais na condição teste	- Relé e MU processando todos os dados, porém com sinais na condição teste - Outs IED Bloqueadas
MU (Test/Blocked)	- IED não processa os dados da MU - Outs MU Bloqueadas	- IED não processa os dados da MU - Outs IED e MU Bloqueadas	- Relé e MU processando todos os dados, porém com sinais na condição teste - Outs MU Bloqueadas	- Relé e MU processando todos os dados, porém com sinais na condição teste - Outs IED e MU Bloqueadas

Projeto de Digitalização de Sinais e Controle

- Condição normal e teste - ATENÇÃO



Projeto de Digitalização de Sinais e Controle - RESUMO

Fluxo de engenharia SCL:

- Utilização das ferramentas proprietárias de cada fabricante para manipulação dos arquivos SCL.
- Gerado 1 arquivo SCD por fabricante, em função da ausência de uma ferramenta de configuração do sistema (SCT tool) capaz de centralizar todas as configurações.
- O software de um dos fabricantes não era capaz de exportar arquivos SCD.

Complexidade das configurações do sistema de automação:

- A configuração do sistema e o troubleshooting de problemas exige conhecimentos gerais de redes, protocolos, ferramentas de diagnóstico dos IEDs e softwares como o Wireshark.
- O profissional de proteção que trabalha com subestações digitais precisa ter conhecimentos multidisciplinares.
- Conhecimento mais aprofundado para definir os alarmes e pontos de monitoramento do sistema.
- Novos conhecimentos para a equipe de operação da subestação para interpretar a real criticidade dos alarmes.



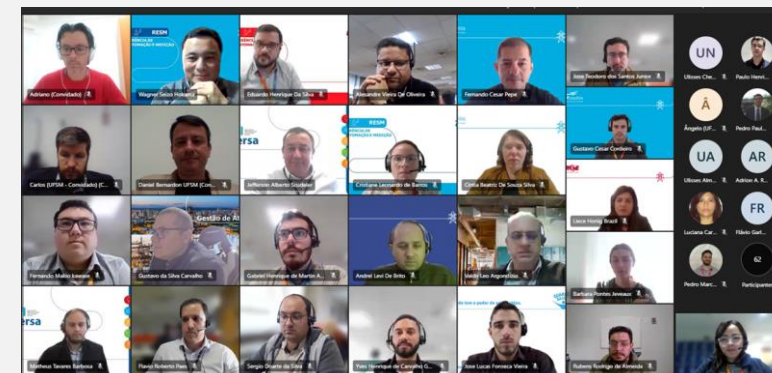
Projeto de Digitalização de Sinais e Controle – Pesquisa e Desenvolvimento

Normativo: Atualização de Requisitos e Criação da Orientação Técnica de Ensaios Operacionais

- GED 5624 – Construção de Subestações, versão 1.5/2023;
- GED 15099 – Características construtivas de subestações de distribuição, versão 1.6/2023.
- Início do estudo do documento GED 5624 e 15099 e sua correlação com a GED 17509 - Sistema Secundário Digital para Smart Substation da CPFL.

Treinamento: Internalização e Transferência do Conhecimento

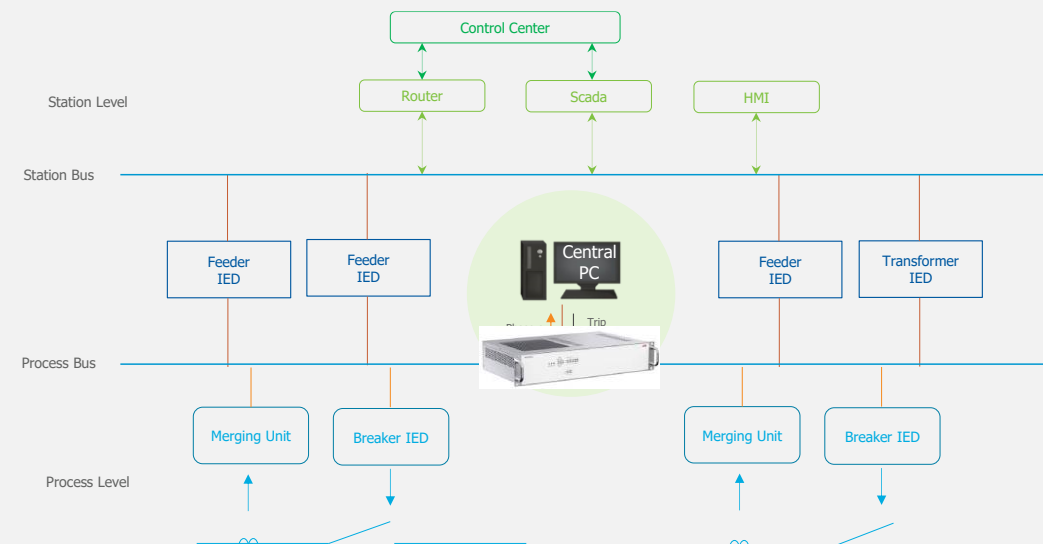
- Realização de Workshop desde o início do projeto;
- Definição das premissas iniciais do formato das capacitações/treinamentos e produção dos materiais/conteúdos dos cursos.



Projeto de Digitalização de Sinais e Controle – Pesquisa e Desenvolvimento

Desenvolvimento da Proteção Centralizada:

- Desenvolvimento da implementação de reports MMS Server (em andamento):
 - Uso do software IEC61850Browser em um IED no laboratório da UFSM para verificar todos os pontos presentes ;
 - Geração de snapshot contendo todos os pontos presentes e suas descrições;
- Próximo passo: Realizar o mesmo procedimento com o IEDs Comerciais, por também ser diferencial e analisar quais pontos se alteram em uma situação de falta, para implementar o mesmo através do nosso software;

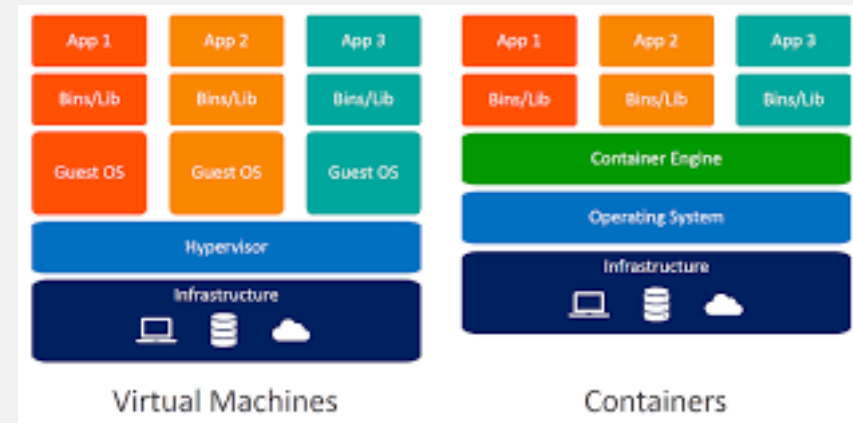


Projeto de Digitalização de Sinais e Controle – Pesquisa e Desenvolvimento

Desenvolvimento da Proteção Centralizada:

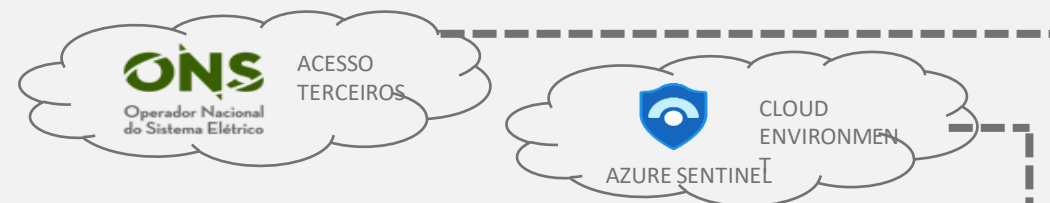
- Testes para separação em containers (Docker) diferentes
 - Um container para aquisição dos dados em SV e metodologia de proteção;
 - Um container para envio de GOOSE;
 - Um container para reports MMS;
- Comunicação entre containers via Redis;
- Foi realizado o mesmo teste em dois computadores com processadores diferentes, para verificar o desempenho de utilizar o Docker (que permite essa interoperabilidade);
- Resultados:
 - Em média, PC 1 (com processador Core i7) levou em média 12.08ms entre uma falta ser simulada, o algoritmo processá-la e enviar um GOOSE contendo o trip, enquanto o PC 2 (com processador Core i5) teve uma média de 14.58ms;

Teste	PC 1	PC 2
Teste 1	0,012500	0,014583
Teste 2	0,012500	0,016667
Teste 3	0,012500	0,012500
Teste 4	0,012500	0,012500
Teste 5	0,012500	0,018750
Teste 6	0,012500	0,012500
Teste 7	0,012500	0,012500
Teste 8	0,010417	0,016667
Teste 9	0,012500	0,012500
Teste 10	0,010417	0,012500
Teste 11	0,012500	0,016667
Teste 12	0,010417	0,012500
Teste 13	0,012500	0,016667
Teste 14	0,012500	0,014583
Teste 15	0,012500	0,012500
Teste 16	0,012500	0,018750
Teste 17	0,010417	0,014583
Teste 18	0,012500	0,012500
Teste 19	0,012500	0,016667
Teste 20	0,012500	0,014583

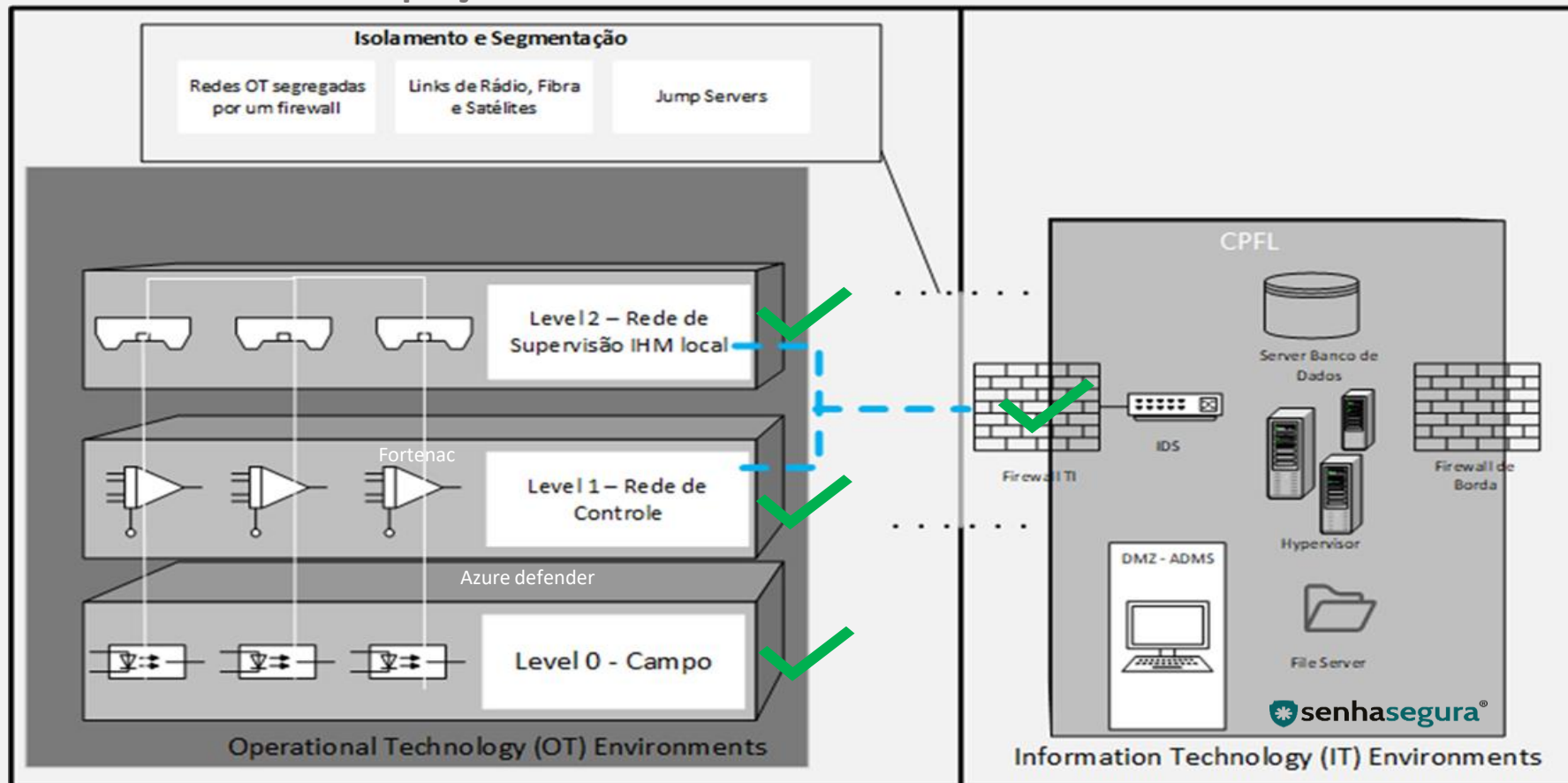


Segurança Cibernética Operacional

- Aderentes aos padrões e normas da nova rotina ONS RO-CB.BR.0I e ANEEL REN 964/21;
- Mitigação de todos os pilares de riscos;
- Implementação de governança do ambiente;



Adequação Total



EDR para proteção das UTRs e IHMs com Windows.

Redes entre os níveis de operação segregados.

IDS inventariando o ativos da rede OT.

Obrigado

www.grupocpfl.com.br

Obrigado!

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da CPFL Energia no projeto "PA3083 - Metodologia para Proteção Diferencial Centralizada de Barra com Uso Eficiente do Barramento de Processo (Process Bus) de acordo com a Norma IEC 61850", desenvolvido sob o Programa P&D ANEEL PD-00063-3083/2021

Atualização: Agosto.2022

