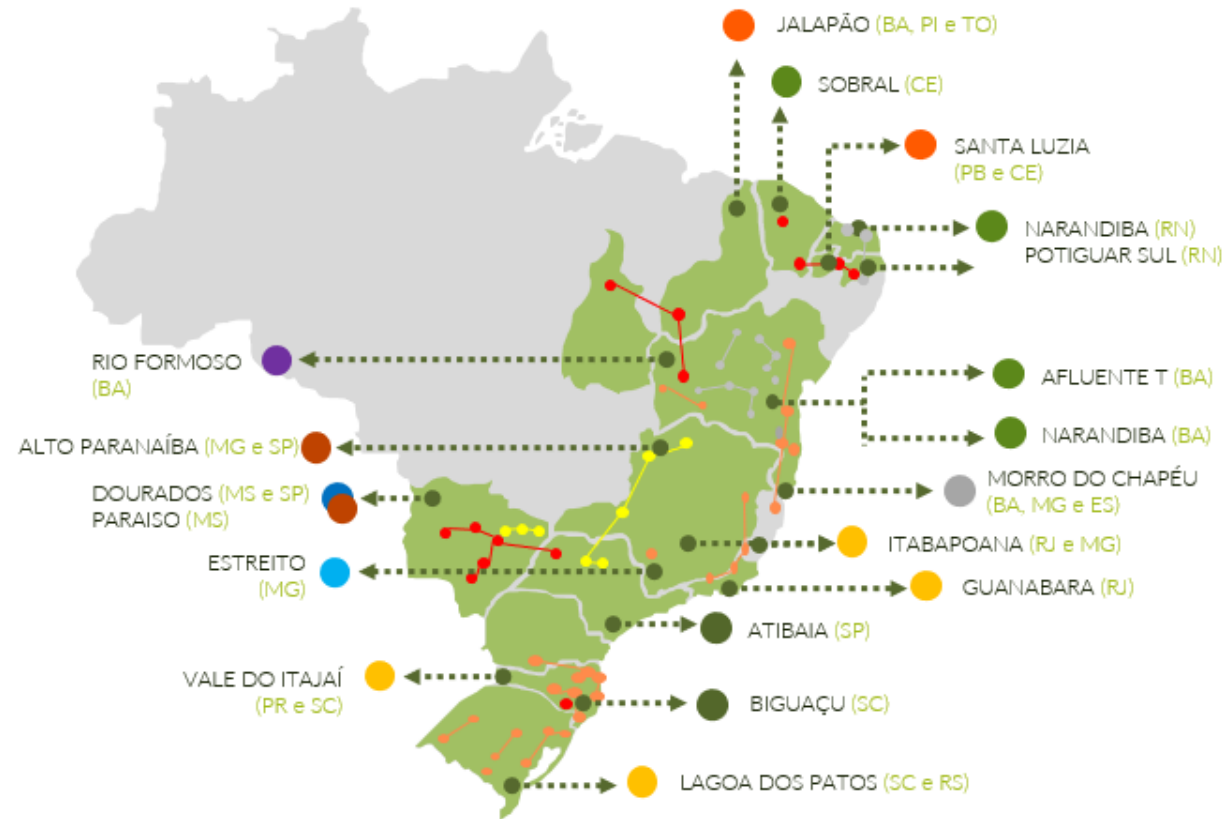


# Workshop

# Subestação Digital: Desafios

# e Perspectivas

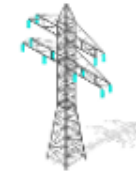
# Apresentação – NEOENERGIA TRANSMISSÃO



## Legenda:

- |                   |                   |                                       |
|-------------------|-------------------|---------------------------------------|
| ● Leilão ABR.2017 | ● Leilão DEZ.2020 | — Ativos em Construção                |
| ● Leilão DEZ.2017 | ● Leilão DEZ.2021 | — Ativos último Leilão ANEEL – Jun/22 |
| ● Leilão DEZ.2018 | ● Leilão JUN.2022 | — Ativos em Operação                  |
| ● Leilão DEZ.2019 |                   |                                       |

## Números NEOENERGIA



8,1 mil km

Circuitos em implantação e operação



15

Subestações NEOENERGIA



9563

Propriedades

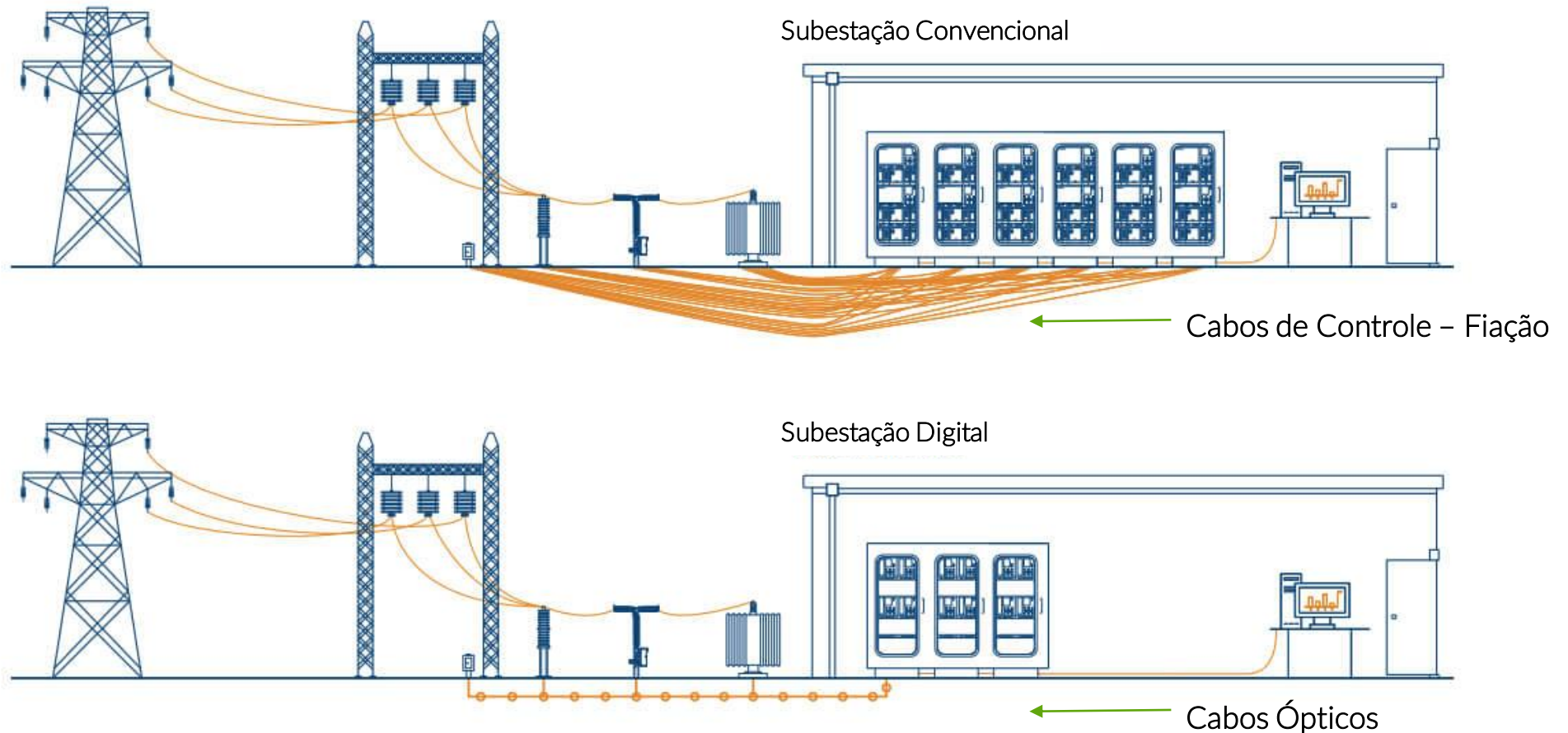
701 Milhões

CAPEX total



# Subestação Digital – Princípios Básicos

Subestações Digitais substituem cabo de cobre por uma simples fibra óptica (rede de processo ou process bus)



A rede de processo é apresentada na seção IEC 61850-2 sobre modelos de comunicação da subestação digital, este requer uma nova abordagem para a arquitetura, projeto e construção da subestação

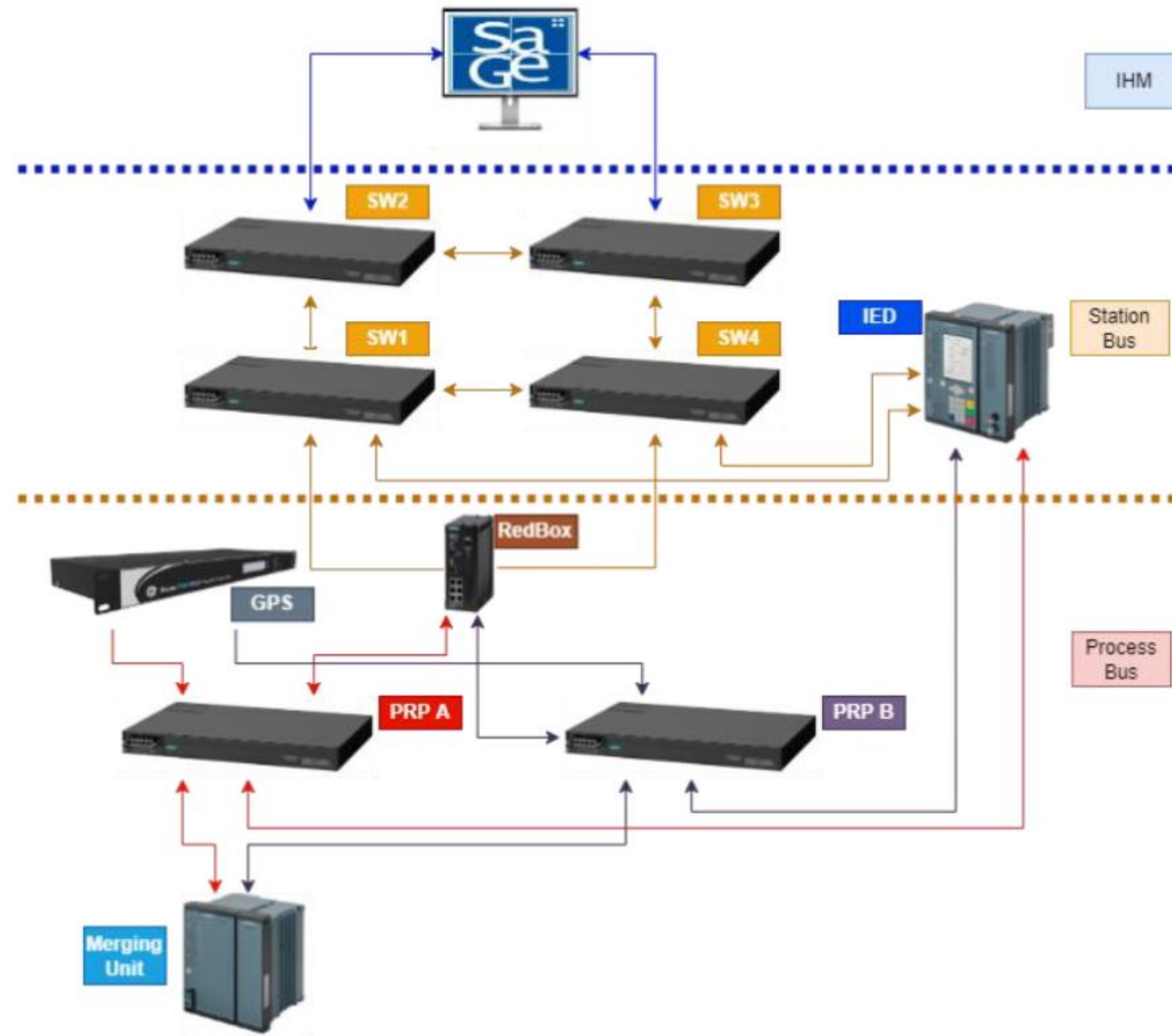


# Subestação Digital – Arquitetura Básica IEC 61850-9-2

StationBus – fornece supervisão e comunicação para Operação

Process Bus – fornece comunicação confiável entre MergingUnits e Relés

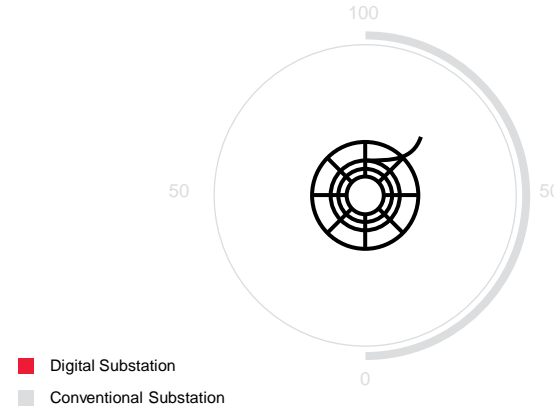
Merging Units – converte sinais I/O em sinais de comunicação na rede



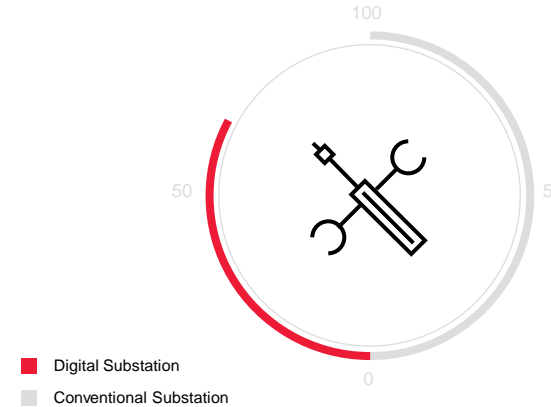
# Subestação Digital vs Convencional

- Maior classe de tensão, maior redução de cabos.

Redução de até 50% dos cabos de cobre



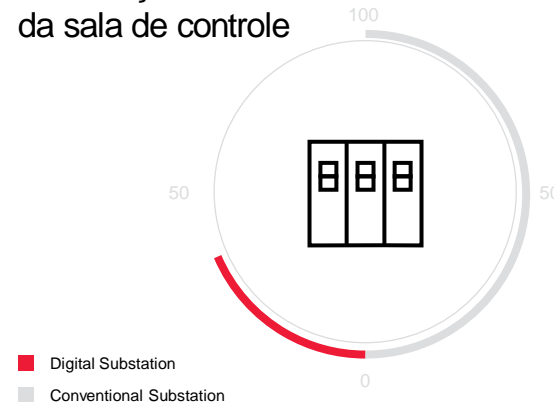
Fase de instalação 40% mais curta



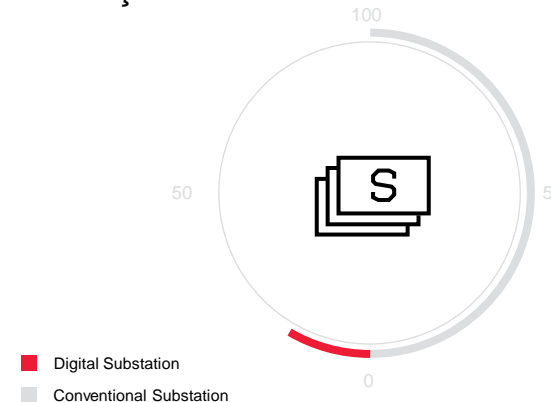
- Significa menos cabos a serem lançados no campo e testados entre o equipamento e a sala de controle.

- Maior número de relés de proteção por painel, permitindo agrupar vários vão em um único painel.

Diminuição em até 16% da sala de controle



Redução de custos



- Cabos com dimensões e especificações reduzidas
- Canaletas para poucos cabos
- Menos tempo para construir uma subestação
- Menos tempo para comissionar



# Subestação Digital vs Convencional

---

## Outros Benefícios

- Diminuição de cabos contribui com diminuição de resíduos, beneficiando meio ambiente
- Menores custos com equipes em campo
- Menores riscos de acidentes com colaboradores

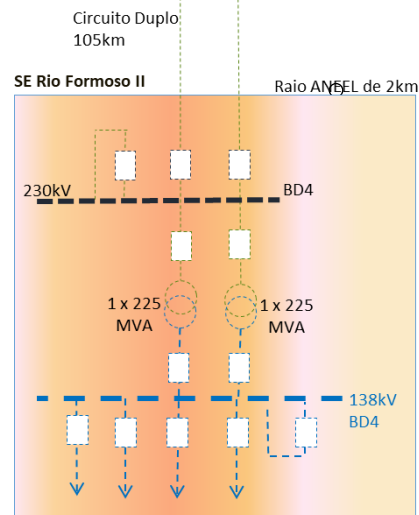
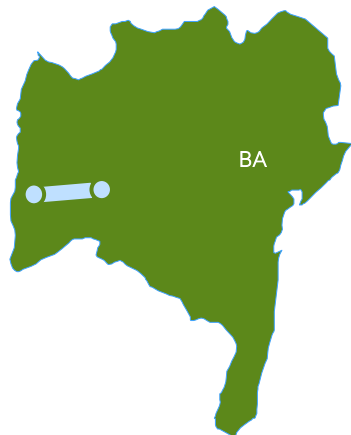
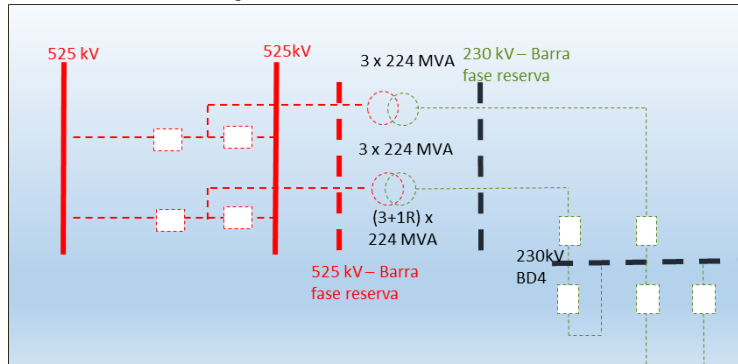


# Subestação Digital

## Lote 9 – 2019

- Nova Subestação – SE Rio Formoso 2 – 230/138kV
- Novo Pátio 230kV – SE Rio das Éguas – 500/230kV
- Primeira SE Digital em acordo com os procedimentos de rede do ONS

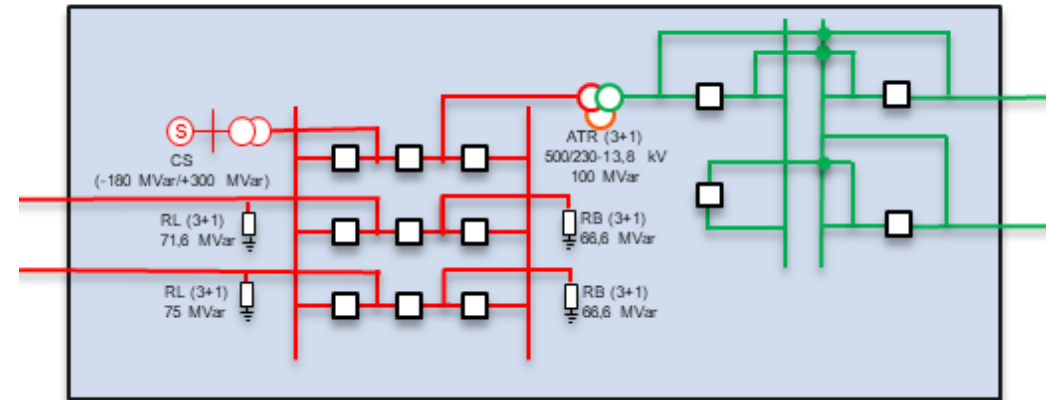
SE Rio da Éguas (novo pátio no 230kV)  
TAESA: Energizada em 2003



## Lote 2 – 2020

- Nova Subestação – SE Medeiros Neto 2 – 500/230kV

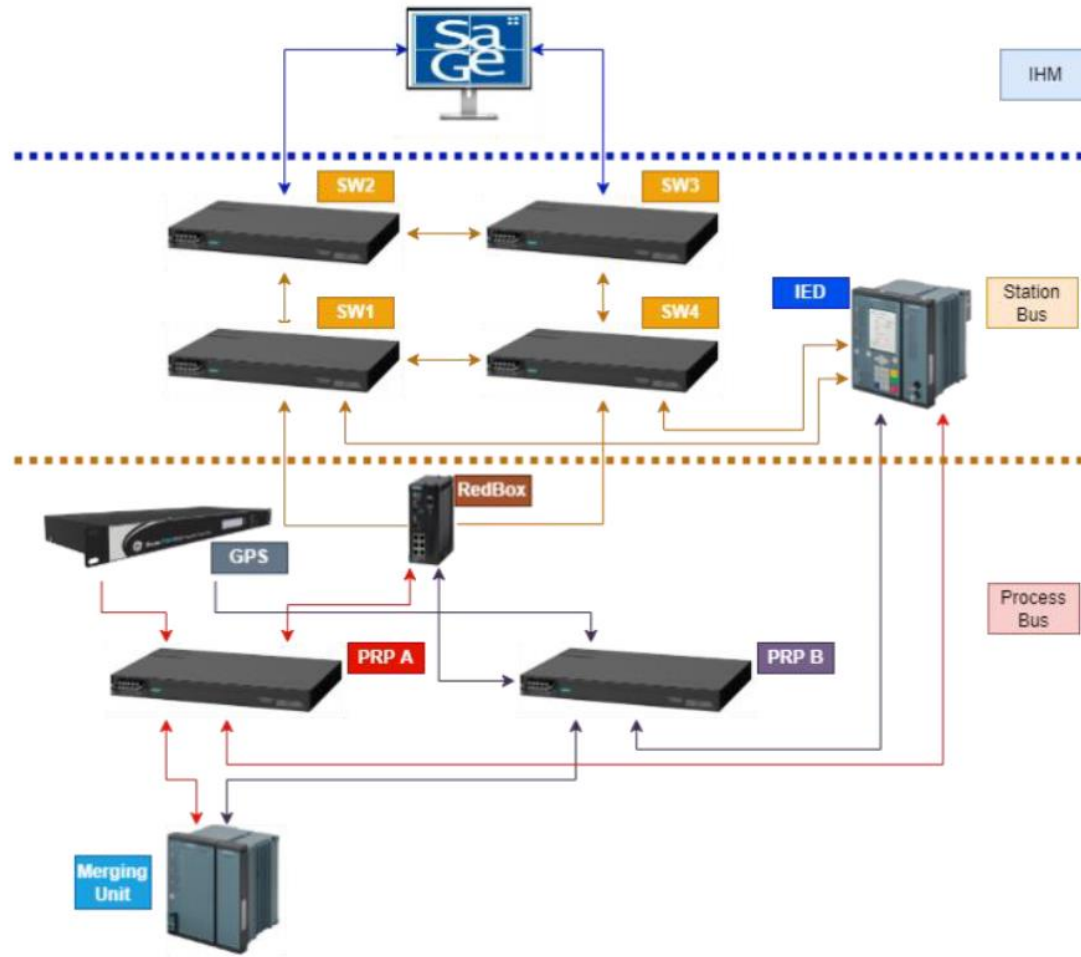
### SE Medeiros Neto 2 (Nova)



R: 5000 m | L: 400 m | C: 500 m | A: 200.000 m<sup>2</sup>



# Subestação Digital – Arquitetura de Comunicação



- **Process Bus**

Merging Units instalada no campo  
IED's na sala de comando ou sala  
de relés

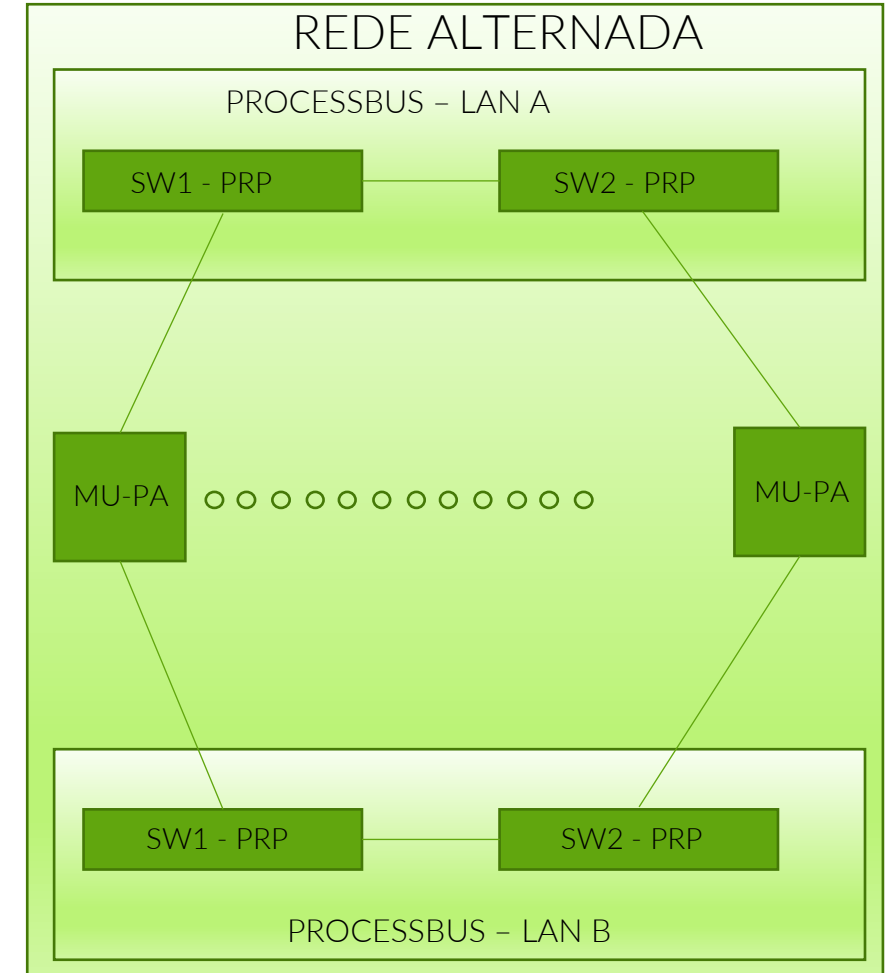
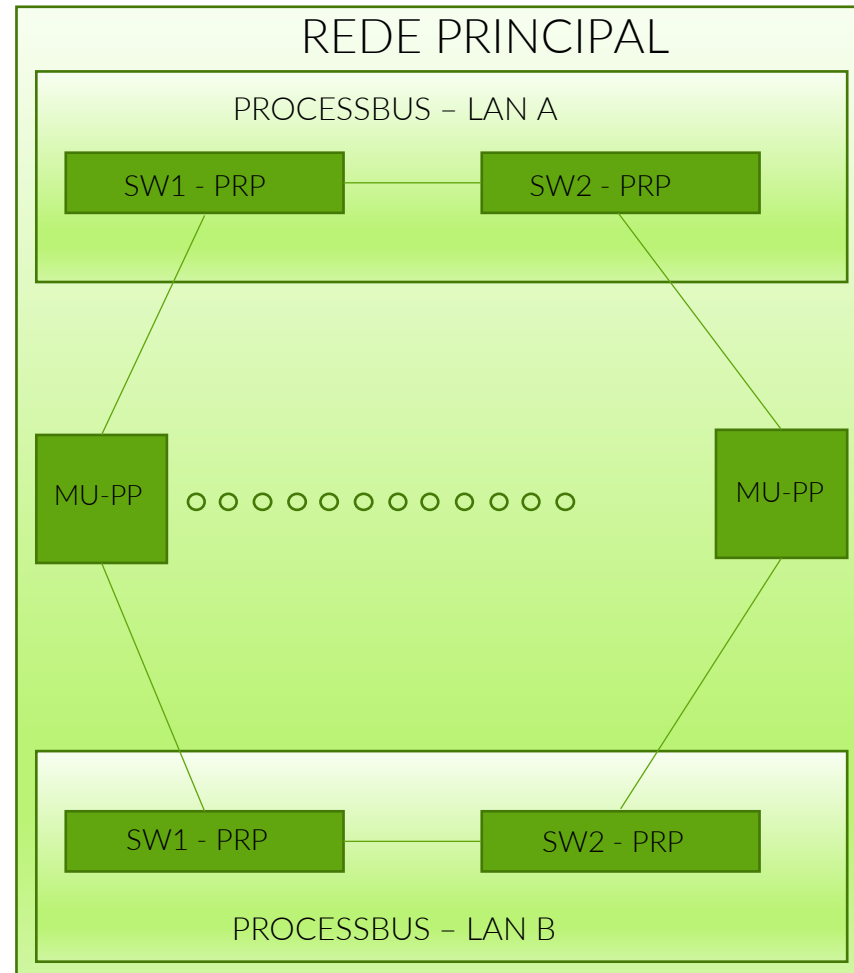
- **Station Bus**

Relés, GPS, supervisão do sistema,  
sistemas CA/CC

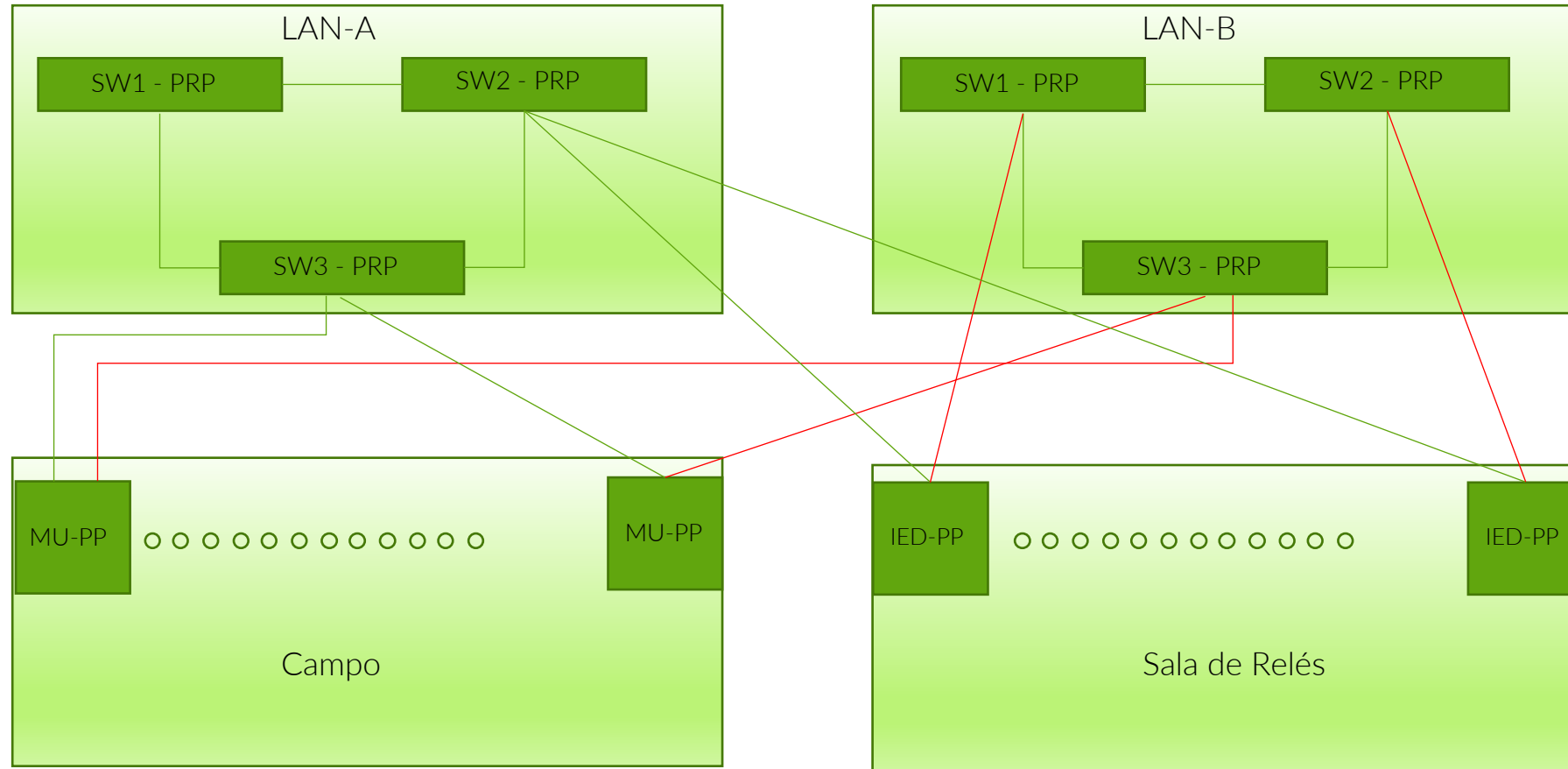
# Subestação Digital – Arquitetura de Comunicação

## Process Bus: PRP

- Não existe tempo de recomposição (Recovery time=0)
- Maior disponibilidade
- Equipamentos precisam ser compatíveis com protocolo PRP (Red-box)
- Maior quantidade de switches



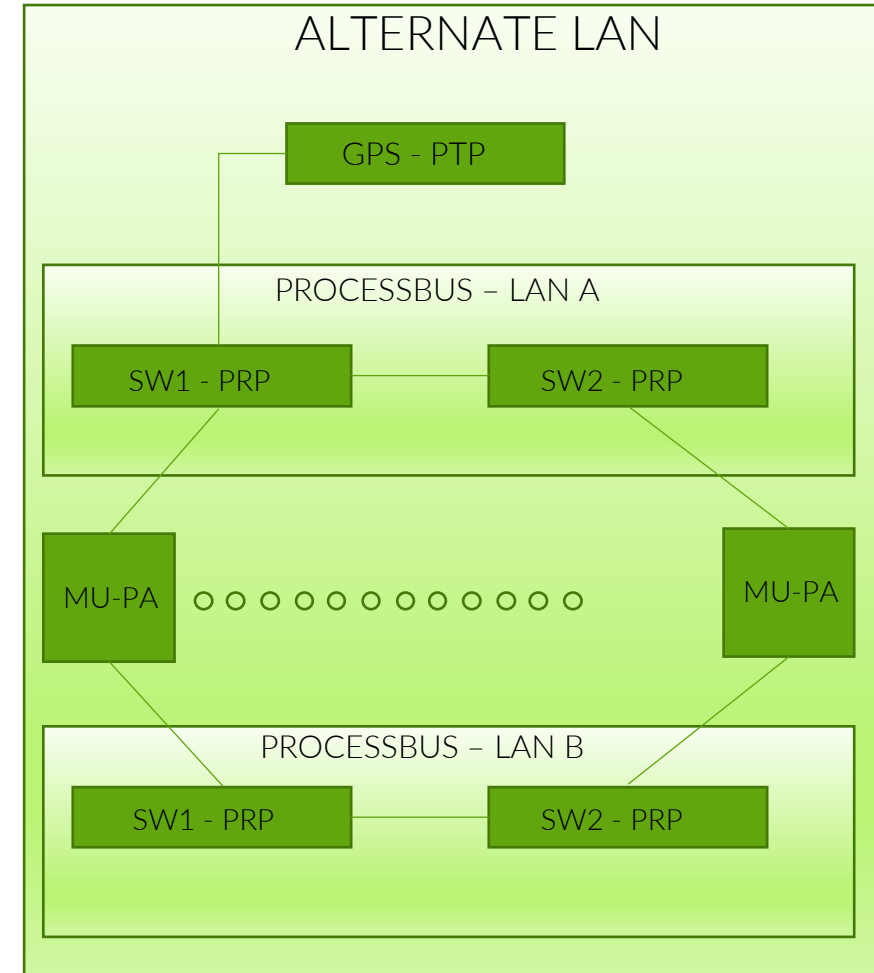
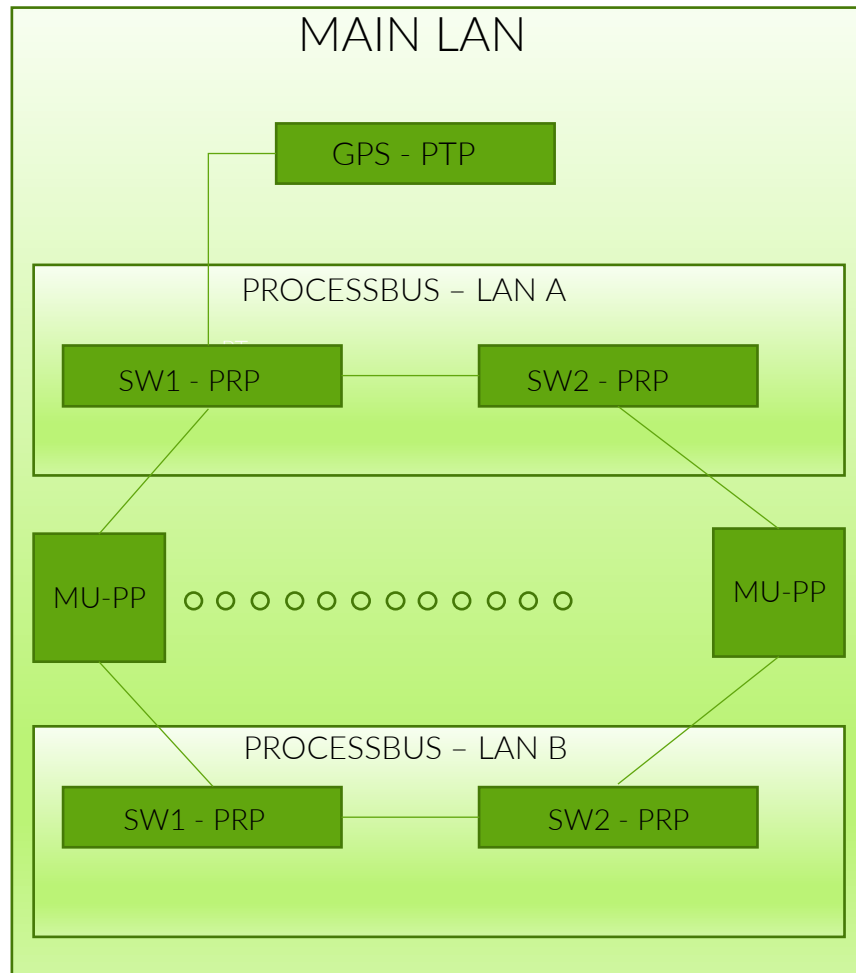
# Subestação Digital – Arquitetura de Comunicação



- Equipamentos publicam pacotes em ambas as LAN's
- Ambos pacotes alcançam o destino
- O assinante decide qual pacote será usado e qual será descartado



# Subestação Digital – Arquitetura de Comunicação



- GPS tem grande importância na sincronização de tempo das amostras (TC e TP)
- Requer tempo menor que 1us – IEEE 1588 (PTP) – Grand Master Clock
- Dois relógios GPS para fornecer sincronização de tempo independente e disponibilidade, no caso de perda da precisão do tempo por falha da antena, por exemplo, o GPS pode manter o tempo local, mantendo todas as proteções locais funcionando corretamente.



# Subestação Digital – Projeto da Subestação

## Principais Projetos

- Diagrama Funcional (Elétrico) e Construtivo dos Quadros de MU
- Lista de Cabos Ópticos Barramento de Processo
- Arquitetura de Sistema
- Lista de Pontos Sistema de Supervisão
- Configuração de Rede Digital (Tabela VLANs)



LISTA DE PONTOS DIGITAIS

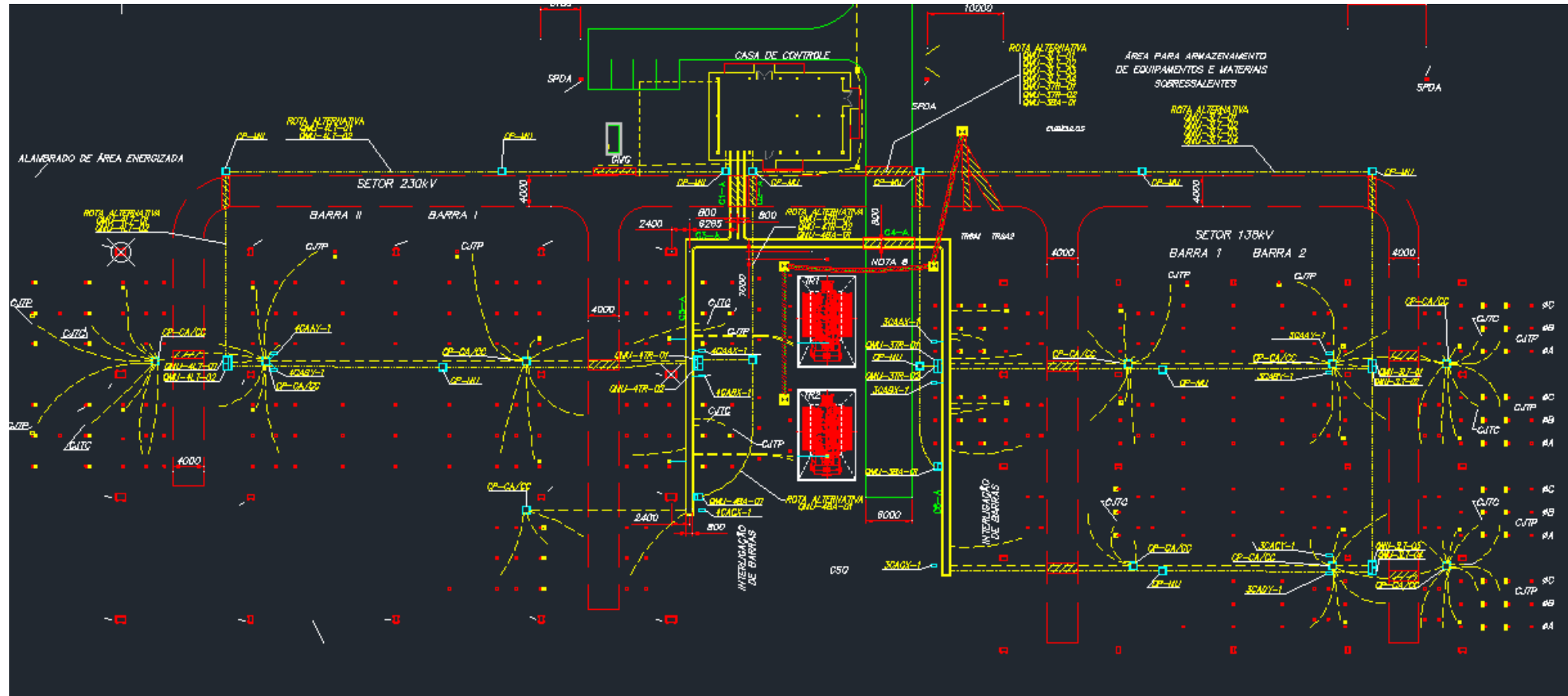
TIPO	NÍVEL DE TENSÃO	VÃO	MODELO	PAINEL	EQTO	IED_NAME	ID DO PONTO	DESCRIÇÃO DO PONTO
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4PE.2169	MND.230.04BA.UPB4P.Comunicacao Canal 1 (STATION BUS)
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4PE.2169	MND.230.04BA.UPB4P.Comunicacao Canal 2 (STATION BUS)
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4PF.2169	MND.230.04BA.UPB4P.Comunicacao Canal 1 (PROCESS BUS)
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4PF.2169	MND.230.04BA.UPB4P.Comunicacao Canal 2 (PROCESS BUS)
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.2577	MND.230.04BA.UPB4P.Religio Interno (PTP)
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.2579	MND.230.04BA.UPB4P.Modulo Simulação
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.2574	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G001	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE MU PP
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G002	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 04D1 MU PP
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G003	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 04D1 UCP2
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G005	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 04D1 UCP1
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G006	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 04T1 MU PP
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G007	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 05T1 UCP2
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G009	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 05T1 UCP1
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G010	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 04N7 MU PP
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G011	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 04N7 UCP2
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G013	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 04N7 UCP1
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G014	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 04N8 MU PP
Digital Simples	230kV	04BA	7SS85	PPC-MND-BUS	UPB4P	PMND_4BA	MND_23F.04BA.UPB4P.G015	MND.230.04BA.UPB4P.GOOSE 04N8 UCP2

NÍVEL DE TENSÃO	IED NAME	DESCRIÇÃO DO BAY	MODEL O	SMV ID	STREAM TYPE	ANALOG	Carga Porta (MB)
500kV	MUPMN2_5B	MEDIÇÃO DE BARRAS - 500kV	6MU85	MUP7BB_E_ST1	F15360S810U4	4U/ - MED	5
500kV	MUPMN2_5B	MEDIÇÃO DE BARRAS - 500kV	6MU85	MUP7BB_E_ST2		-	
500kV	MUAMN2_5B	MEDIÇÃO DE BARRAS - 500kV	6MU85	MUA7BB_E_ST1	F15360S810U4	4U/ - MED	5
500kV	MUAMN2_5B	MEDIÇÃO DE BARRAS - 500kV	6MU85	MUA7BB_E_ST2		-	
500kV	MUPMN2_5L1	AX - Linha - LT JN2	6MU85	MUP7AX_E_ST1	F4800S218U8	4IM/4IP/8U/ - PROT/MED	11
500kV	MUPMN2_5L1	AX - Linha - LT JN2	6MU85	MUP7AX_E_ST2	F4800S214U0	4IP/ - 87B	
500kV	MUAMN2_5L1	AX - Linha - LT JN2	6MU85	MUA7AX_E_ST1	F4800S218U8	4IM/4IP/8U/ - PROT/MED	11
500kV	MUAMN2_5L1	AX - Linha - LT JN2	6MU85	MUA7AX_E_ST2	F4800S214U0	4IP/ - 87B	
500kV	MUPMN2_5R1	AX - Reator de Linha RLT JN2	6MU85	MUP7AX_E_ST1	F4800S218U0	8IP/ - PROT	6
500kV	MUPMN2_5R1	AX - Reator de Linha RLT JN2	6MU85	MUP7AX_E_ST2		-	
500kV	MUAMN2_5R1	AX - Reator de Linha RLT JN2	6MU85	MUA7AX_E_ST1	F4800S218U0	8IP/ - PROT	6
500kV	MUAMN2_5R1	AX - Reator de Linha RLT JN2	6MU85	MUA7AX_E_ST2		-	
GER_NOR_FLH_T01	Interno		PMND_4B.C				
GER_NOR_FLH_T01	Interno		PMND_4B.C				
GER_NOR_FLH_T01	Interno		PMND_4B.C				
GER_NOR_FLH_T01	Interno		PMND_4B.C				
GER_NOR_FLH_T01	Interno		PMND_4B.C				
GER_NOR_FLH_T01	Interno		PMND_4B.C				



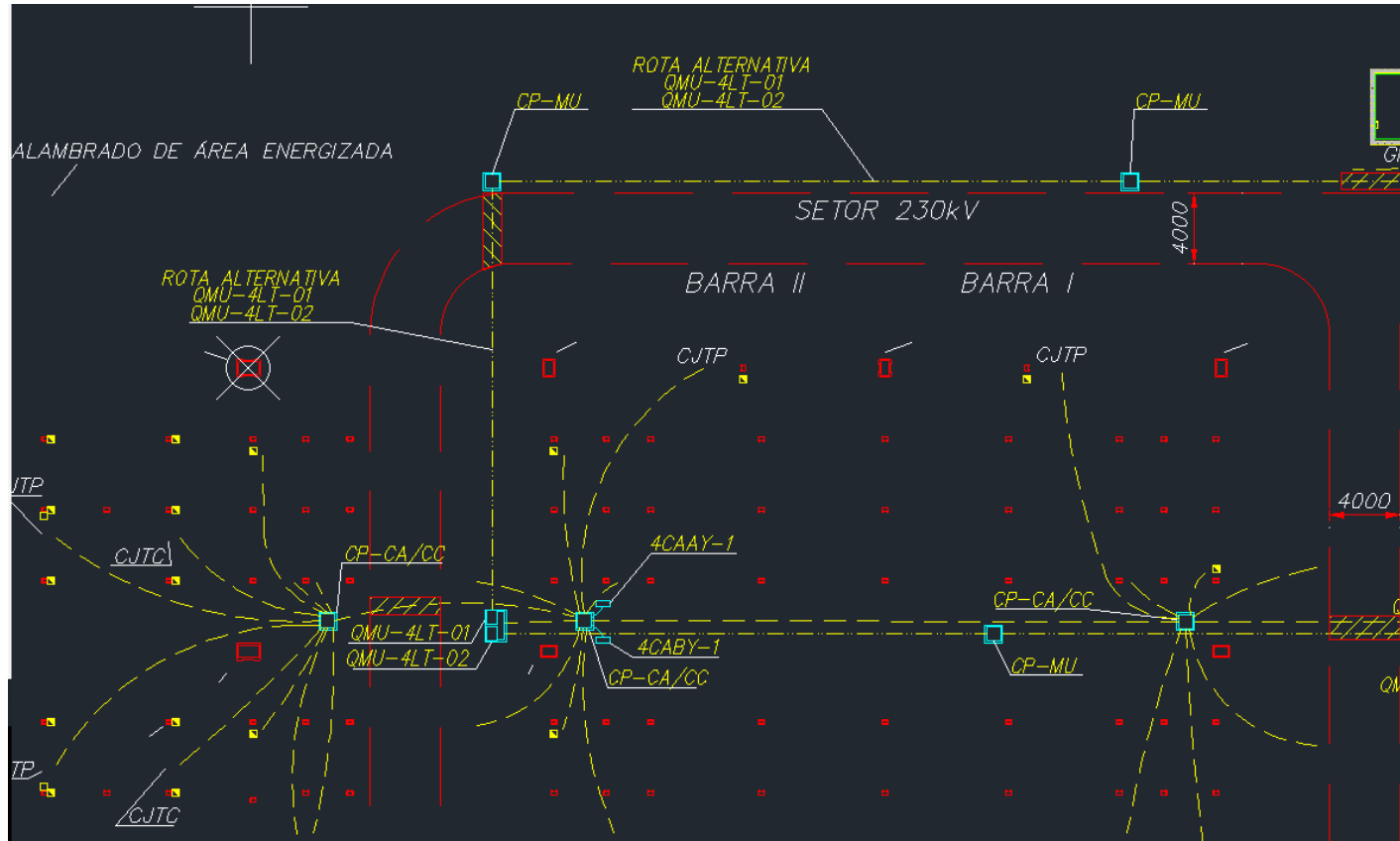
# Subestação Digital – Projeto da Subestação

- Rotas Principal e Alternada
- Eletrodutos para cabos ópticos
- Diminuição de estrutura civil e elétrica, menos cabos de controle e proteção

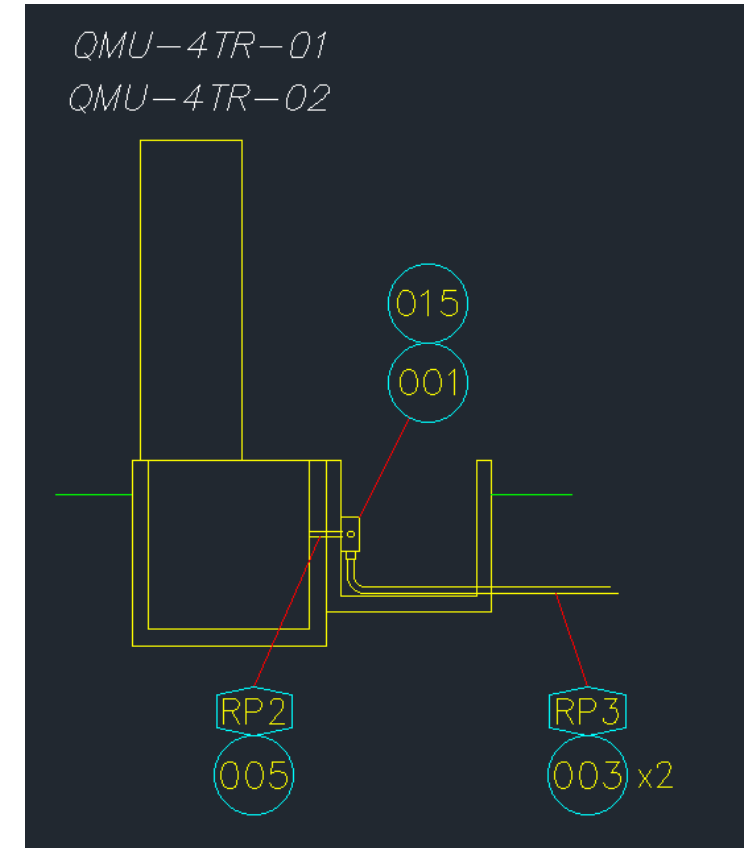


# Subestação Digital – Projeto da Subestação

- Detalhes das Rotas Principal e Alternada



- Montagem do Pannel MU em campo, Canaflex enterrado à 60cm de profundidade



# Subestação Digital – Projeto da Subestação

---

## Desafios

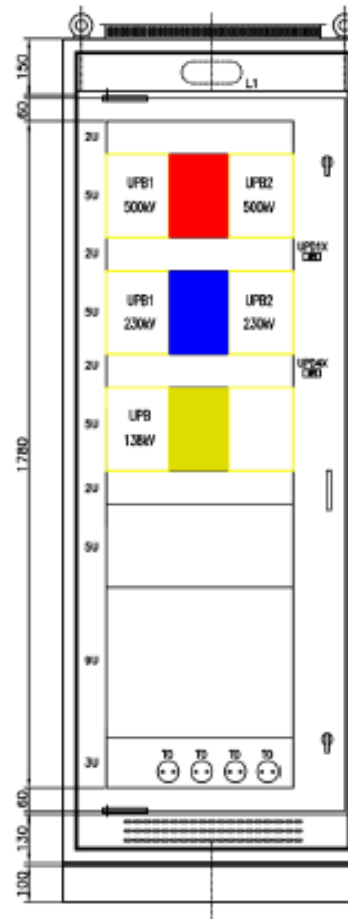
- Definição otimizada da melhor rota principal e alternada a ser projetada (confiabilidade)
  - Instalação do Eletroduto de Pátio
  - Trecho das canaletas
  - Posição dos quadros MU
- Execução da Empreiteira
- Interação entre Áreas, projeto de Infra para:
  - Civil/Eletromecânico
  - Rede de comunicação (Telecom)
- Sala de controle
  - Definição do menor espaço físico
  - Projeto - Instalação de antenas GPS Principal e Alternada
- Documentação confiável





# Subestação Digital – Requisitos de Projeto

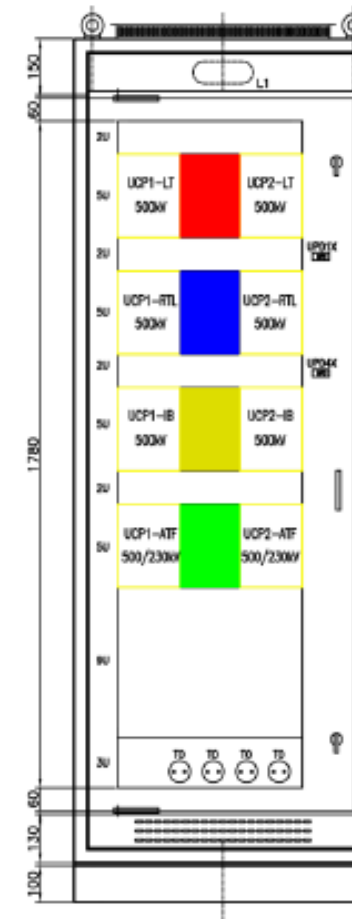
- Anexo Técnico de SPCS
- IEDs principal e alternado lado-a-lado
- IEDs associados com cores
- Não aplicar IEDs de níveis de tensão diferentes no mesmo painel (Ex.: UCPs LT500kV e UCPs LT230kV no mesmo painel)
- Considerar uma chapa divisória entre os diferentes bays
- Caso o vão seja incompleto deve-se deixar vago aplicamos cores diferentes
- Deverá haver uma chapa divisórias horizontais separando os diferentes bays



Painel: Proteção de Barras

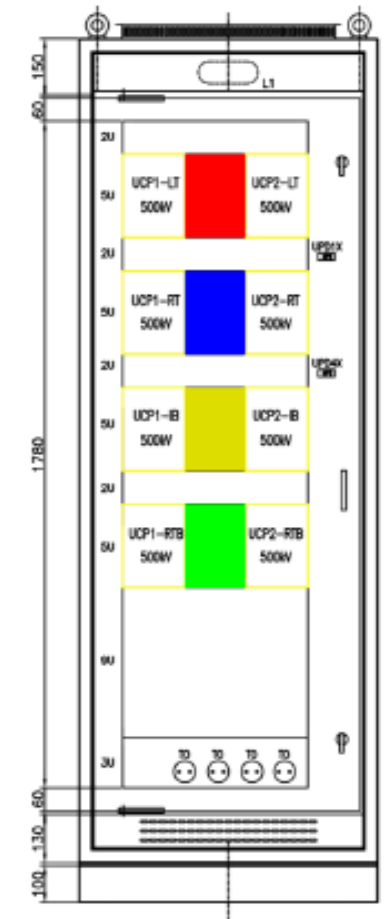
Ex.: SE com 3 pátios

UPB1 e UPB2 500kV



Painel: Config Disjuntor e Meio

Ex.: Linha com Reator +  
Interligador de Barras +  
Autotransformador

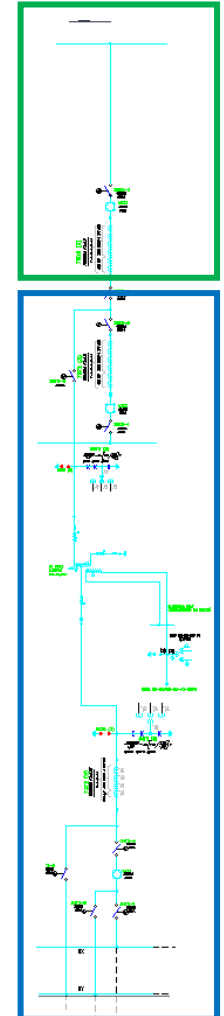
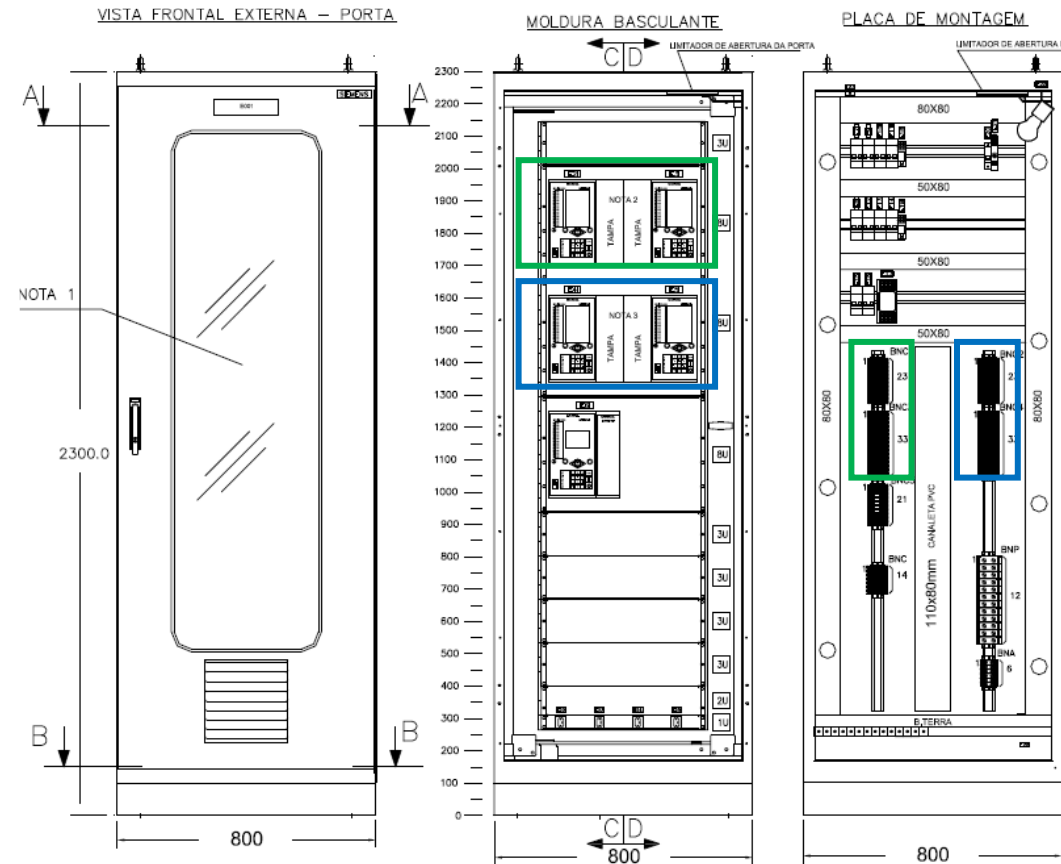


Painel: Config. Disjuntor e Meio

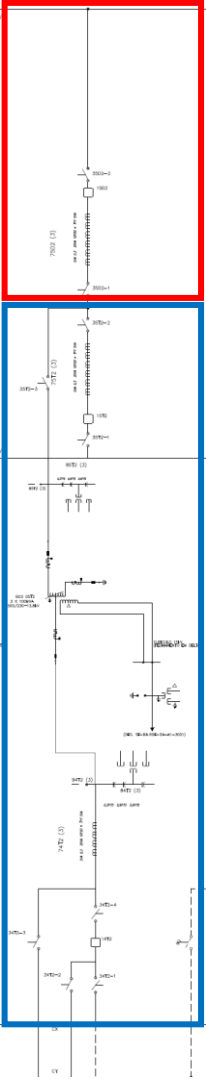
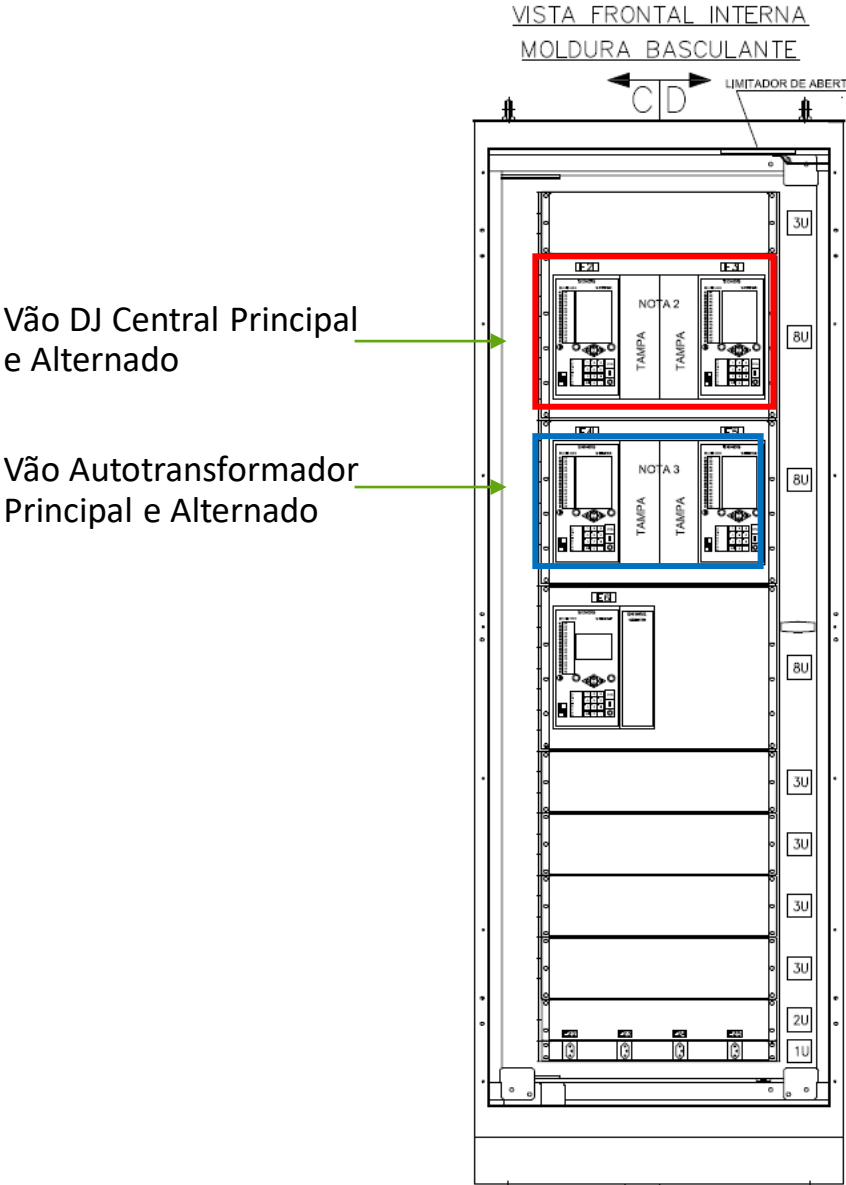
Ex.: Linha com Reator +  
Interligador de Barras +  
Reator de Barras

# Subestação Rio das Éguas – Projeto Painel Transformador

- Os painéis localizados na sala de relés são “limpos”, mais vão poder ser compartilhados no mesmo painel
- As conexões são apenas fonte de alimentação CA/CC e fibra óptica.



# Subestação Rio das Éguas – Projeto Painel Transformador



# Subestação Rio das Éguas – Projeto Painel Transformador



- Painéis locados na sala de controle: Poucas conexões são necessárias:
  - Alimentação CA/CC
  - Fibras Ópticas

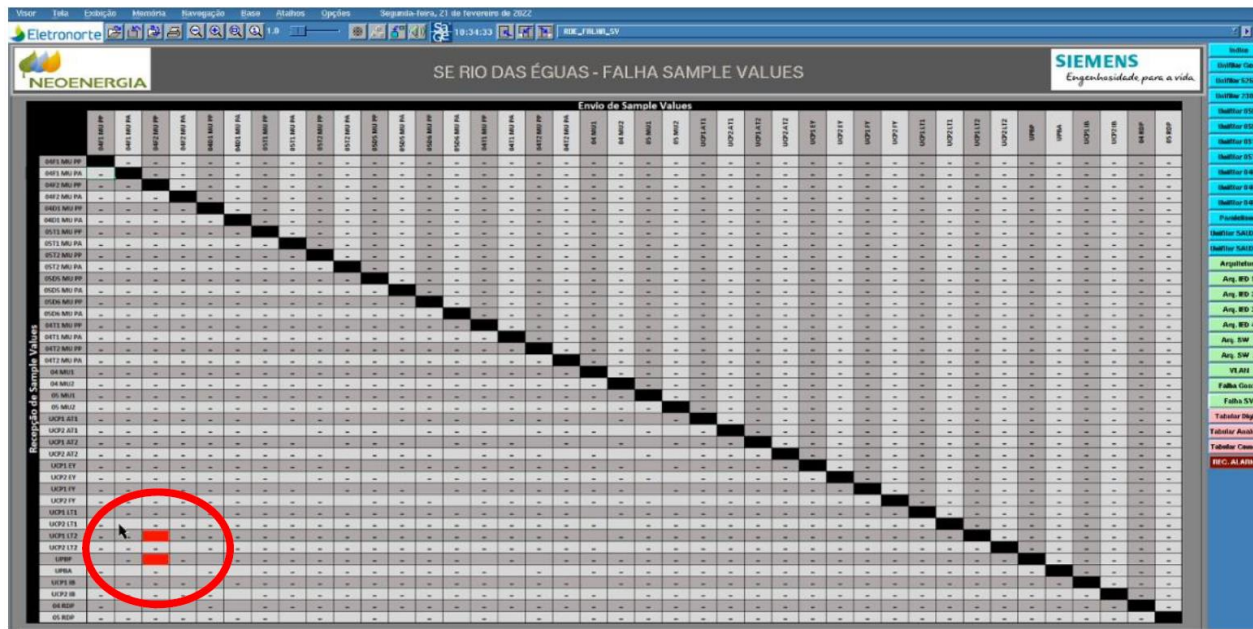
# Testes de Aceitação em Fábrica e Treinamento

---

- Quebra de Paradigma
  - Todos os sinais dentro da rede de comunicação
- Engenharia + equipe O&M
- Ferramenta especial para diagnóstico da rede: OMICRON DANE0
- Testes Funcionais e Lógicos
- Supervisão
  - Desenvolvimento de telas de manutenção para ajudar a identificar problemas
- Testes de Comunicação
  - Falhas múltiplas em LAN
  - GPS e testes de falhas
  - Tempo entre mensagens – tempo crítico para sinais de Trip

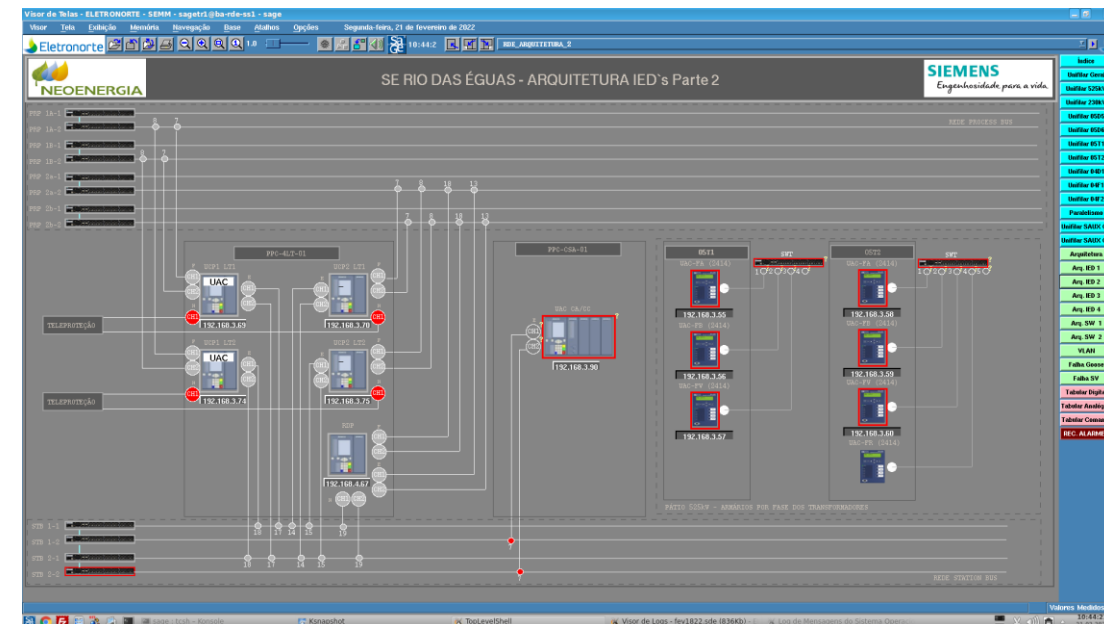


## Testes de Aceitação em Fábrica – Exemplo de Telas



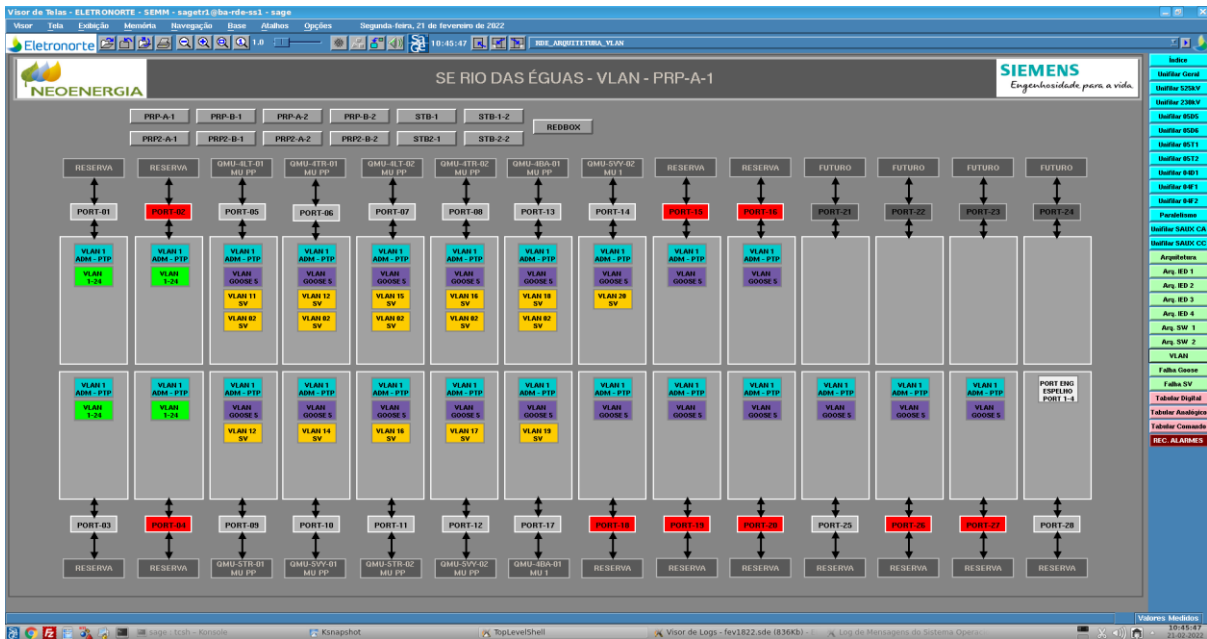
- Tela de falhas Goose e Sample Values:
  - Tabela cruzada entre Publicador x Assinante, identifica onde a falha está localizada

- Tela de Arquitetura:
  - Indicam todas as conexões e falhas no sistema



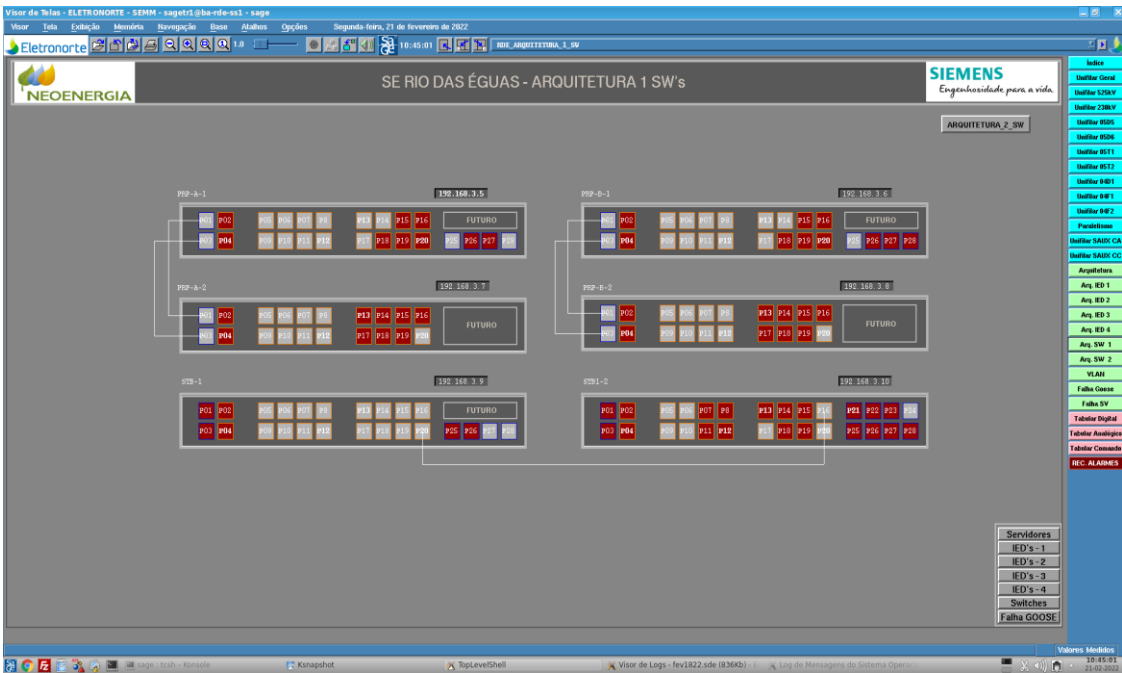


# Testes de Aceitação em Fábrica – Exemplo de Telas

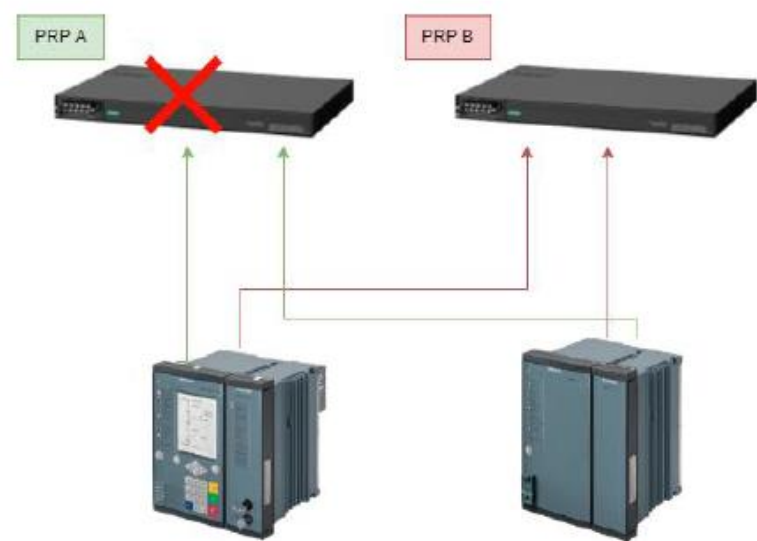


- Tela VLAN:
  - Lista todas as conexões nos switches com estados da porta VLAN configurada e comunicação

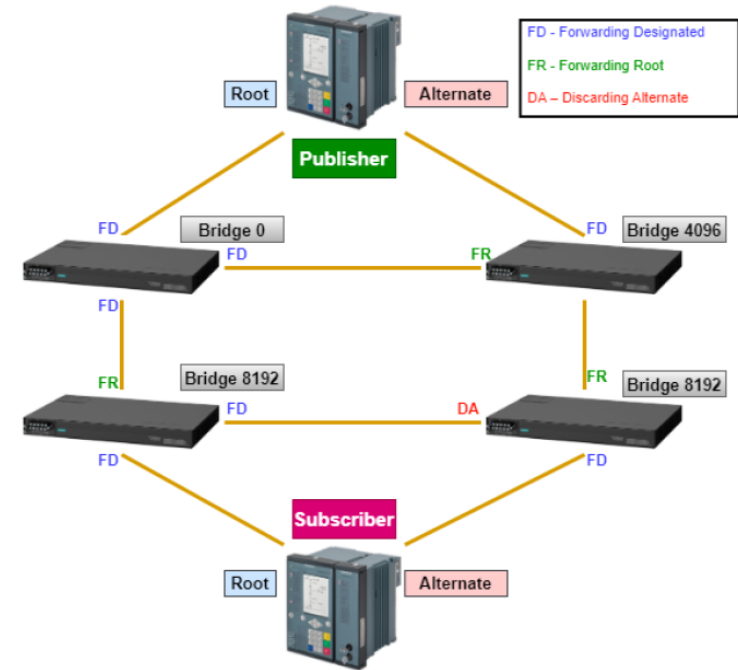
- Tela SNMP



# Testes de Aceitação em Fábrica – Testes de Redundância



Recovery time = 0 [ms]



- Teste de redundância: a comunicação continua funcionando mesmo com a falha do switch com tempo de recuperação de 0 [ms].
- A escolha da arquitetura correta é importante para evitar riscos de operação incorreta, com 6ms o sistema estaria bloqueado para operar a partir de uma mudança de estado.

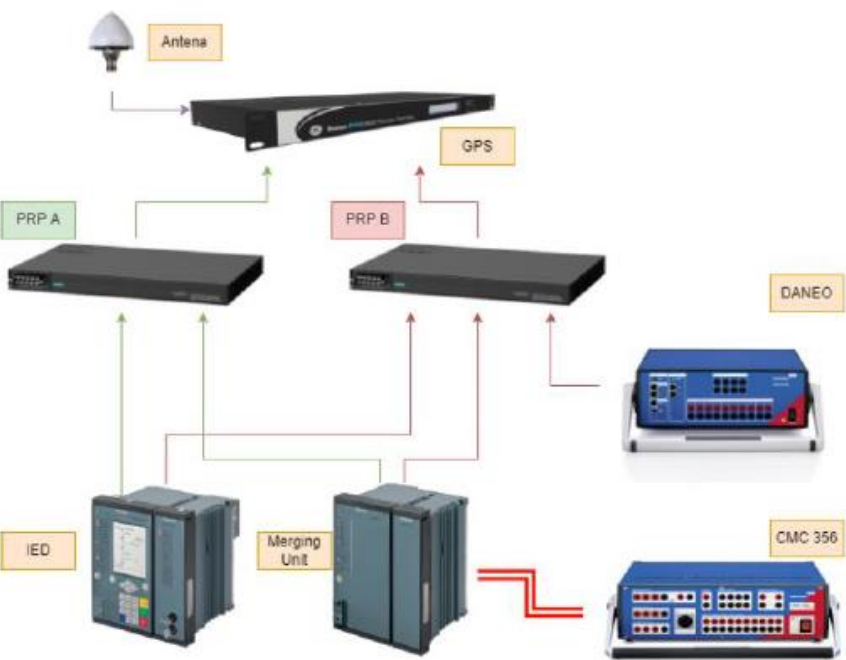
	Falha GOOSE	GOOSE OK	Recomposição
TESTE 1	18:04:20.042	18:04:20.050	8ms
TESTE 2	15:49:34.086	15:49:34.090	4ms
TESTE 3	16:53:46.905	16:53:46.911	6ms
		Média	6ms





# Testes de Aceitação em Fábrica – Testes de Redundância

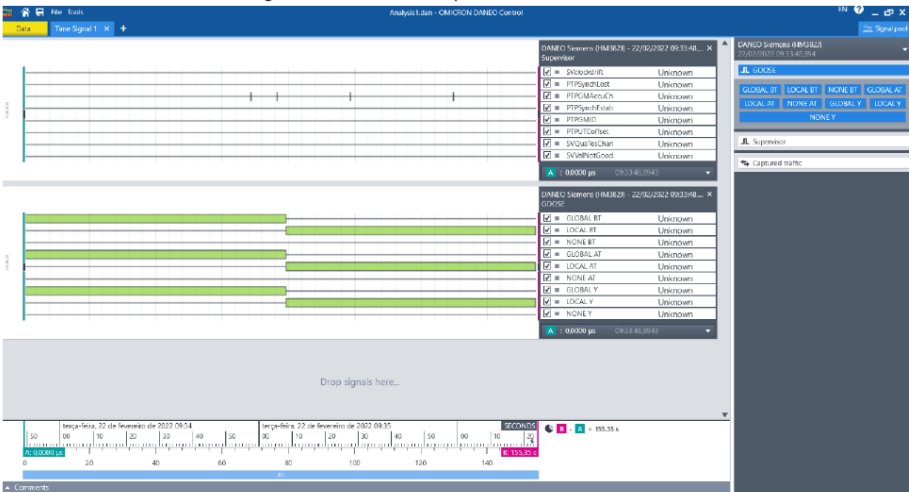
- Teste do GPS: durante uma operação anormal da antena GPS, os relés não podem ser afetados, então o sistema de sincronização deve mudar de hora global para hora local de forma rápida.



Time stamp	Relative time	Indication	Value	Quality	Additional information
22.02.2022 09:35:29.075	00:00:00:00.001	TEST:GLOBAL AX	off	good (process)	Data change
22.02.2022 09:35:29.075	00:00:00:00.001	TEST:LOCAL AX	on	good (process)	Data change
22.02.2022 09:35:29.075	00:00:00:00.001	TEST:GLOBAL EY	off	good (process)	Data change
22.02.2022 09:35:29.075	00:00:00:00.001	TEST:LOCAL EY	on	good (process)	Data change
22.02.2022 09:35:29.074	00:00:00:00.000	TEST:GLOBAL EZ	off	good (process)	Data change
22.02.2022 09:35:29.074	00:00:00:00.000	TEST:LOCAL EZ	on	good (process)	Data change

Fonte: Autoria Própria

Figura 13: Análise do comportamento com a DANEO



# Testes de Aceitação em Fábrica – Testes de Redundância

Transfer time class	Transfer time [ms]	Application examples: Transfer of
TT0	>1 000	Files, events, log contents
TT1	1 000	Events, alarms
TT2	500	Operator commands
TT3	100	Slow automatic interactions
TT4	20	Fast automatic interactions
TT5	10	Releases, status changes
TT6	3	Trips, blockings

- Os requisitos da IEC61850-5 para mensagens de trip entre IED e MU deve estar dentro de 3 ms.
- Para garantir esse tempo, foi necessária a configuração de VLANs e frame SV, evitando sobrecarga da LAN.
- OBS: Alguns fabricantes possuem IEDs em conformidade com IEC61850-9-2-LE, mas para uma configuração flexível da sample values, a IEC-61869 é uma solução melhor, porque é possível configurar apenas o fasor que será utilizado e isso pode diminuir a carga da rede.

Time stamp	Functions structure	Name	Value
2022-03-22, 14:03:41.070	Busbar:Busbar protection: Group indicat	Operate diff. prot.	phs A phs B
2022-03-22, 14:03:41.069	Busbar:Busbar protection: 04B2	Operate diff. prot.	phs A phs B
2022-03-22, 14:03:41.069	Busbar:Busbar protection: Check zone	Operate diff. prot.	phs A phs B
2022-03-22, 14:03:41.068	YAO 4AX: 452AX: Circuit break	Trip/open cmd. 3-pole	on
2022-03-22, 14:03:41.068	YAO 4CX: 452CX: Circuit break	Trip/open cmd. 3-pole	on
2022-03-22, 14:03:41.068	GO	GO3 DISJ 452CX - 87B ATUADO	on
2022-03-22, 14:03:41.067	YAO 4CX: 452CX: Trip logic	Trip ind. Busbar diff. prot.	on
2022-03-22, 14:03:41.067	GO	GO1 DISJ 452AX - 87B ATUADO	on
2022-03-22, 14:03:41.067	YAO 4AX: 452AX: Trip logic	Trip ind. Busbar diff. prot.	on
2022-03-22, 14:03:41.067	R01	R01 3 ATUACAO 8692	on

Time stamp	Functions structure	Name	Value
2022-03-22, 14:03:41.126	GO	GO3-B1.3 DJ 452AX FECHADO FB	off
2022-03-22, 14:03:41.125	GO	GO2-B1.2 DJ 452AX FECHADO FA	off
2022-03-22, 14:03:41.074	VI	VI1 TRIP GERAL	on
2022-03-22, 14:03:41.070	GI	GI0-B04.6 DJ 452AX TRIP B0B2 FB	on
2022-03-22, 14:03:41.070	GI	GI21-B06.1 DJ 452AX TRIP B0B2 FC	on
2022-03-22, 14:03:41.070	GI	GI15-B04.1 DJ 452AX TRIP B0B1 FA	on
2022-03-22, 14:03:41.070	GI	GI16-B04.2 DJ 452AX TRIP B0B1 FB	on
2022-03-22, 14:03:41.070	GI	GI17-B04.3 DJ 452AX TRIP B0B1 FC	on
2022-03-22, 14:03:41.070	GI	GI19-B04.5 DJ 452AX TRIP B0B2 FA	on



# Comissionamento – Painéis – Sala de Comando

---



# Comissionamento – Quadros MU – Pátio

---



# Comparando com Valores Reais

---

- Indaial: Subestação BD 4 (convencional)
  - 2 x 230kV Linhas de Transmissão
  - 2 x 230/138kV Autotransformadores
  - 4 x 138kV Linhas de Transmissão

**Total de Cabos: 125.000 metros**

- Rio Formoso: Subestação BD 4 (digital)
  - 2 x 230kV Linhas de Transmissão
  - 2 x 230/138kV Autotransformadores
  - 4 x 138kV Linhas de Transmissão

**Total de Cabos: 72.400 metros**





# Comparando com Valores Reais

---

**42% menos cabos**



# Requisitos para Acesso

---

## Requisitos Neoenergia

- Process Bus conforme norma IEC 61850-9-2, garantir a segurança cibernética nas ampliações dos sistemas de proteção e intercâmbio de dados de supervisão e controle:
  - 2x firewall
  - 2x switches
  - Sobressalentes
  - Protocolo entre acessados: IEC60870-5-104.



# Requisitos para Acesso

---

Acessante RIALMA – SE Rio das Éguas

- Fornecimento de Painel de Interfaces com 2 MUs
- Instalado na Sala de Comando - Doação
- Obrigatoriedade: Siemens
- Trâmite de projetos via aplicativo gestão de documentos
- Desafio: Testes de Proteção de Barras
  - Modo Teste
  - Modo Simulação







# OBRIGADO!

OTAVIO BUSNARDO DEGASPERI  
[otavio.degasperi@neoenergia.com](mailto:otavio.degasperi@neoenergia.com)

