

Sistemas Elétricos de Potência I

PROF. LUCAS CLAUDINO



Sumário

Unidade 1 | Introdução aos sistemas elétricos de potência (SEP)

Seção - 1.1 O sistema elétrico de potência (SEP)

Seção - 1.2 Equipamentos elétricos utilizados em SEP

Seção - 1.3 Subestações de energia

Unidade 2 | Análise do sistema elétrico de potência

Seção - 2.1 Sistema por unidade (PU)

Seção - 2.2 Geradores e cargas utilizados em SEP

Seção - 2.3 Introdução ao fluxo de potência



Sumário

Unidade 3 | Sistemas de transmissão em corrente contínua (HVDC)

Seção 3.1 - Introdução aos sistemas de transmissão em corrente contínua

Seção 3.2 - Sistemas HVDC com elo de corrente

Seção 3.3 - Sistemas HVDC com elo de tensão

Unidade 4 | Automação dos sistemas de distribuição de energia

Seção 4.1 - Motivações para a automação do sistema de distribuição de energia

Seção 4.2 - Monitoramento das redes de distribuição

Seção 4.3 - O sistema de gerenciamento da distribuição e suas funções

CONCEITOS

MONITORAMENTO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO



Observabilidade

- Sist. Gerenciamento da Transmissão -> Estimador de estado;
 - Utiliza dados da rede para estimar o estado provável;
- ↓
- Possibilidade de decisões restaurativas;
 - Necessidade: conjunto mínimo de medidas;
 - Necessidade: redundância de dados



Observabilidade em sistemas de distribuição

- Baixa disponibilidade de medidas;
- Ausência de redundância;
- Ausência de medidores extras ao longo da rede;
- Ausência de comunicação da informação;
- Utilização local da informação.

Necessidade

- Preparar o monitoramento em tempo real



Funcionalidade do controle

Operação instantânea

- Monitoramento em tempo real: demanda, geração, fluxo e níveis de tensão;
- Comparação com limites operativos;
- Conhecer os limites e as ações a serem tomadas



Funcionalidade do controle

Planejamento da operação

- Planejamento de curto e longo prazos:
- Previsão de carga;
- Para isso: monitoramento na subestação de dist, ao longo do alimentador e no ponto de consumo.



Funcionalidade do controle

Reporte da operação

- Necessidade de banco de dados com performance, distúrbios, falhas entre outros;
- Comunicação dos índices de qualidade;
- Exemplo: o que ocorreu em um distúrbio passado pode ser útil para evitar falhas



Medidores eletrônicos inteligentes

- Medição e faturamento;
- Comunicação de dados;
- Brasil: ainda baixo uso!



Fonte: <https://images.app.goo.gl/Dsg7bSzC6Mfpvyn28>



Medidores fasoriais para distribuição

- Mede as ondas no *grid* utilizando uma fonte de tensão comum para sincronismo.
- Possibilita medição sincronizada de múltiplos sistemas remotos.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/Dsg7bSzC6Mfpvyn28>

SITUAÇÃO PROBLEMA

SP: Consultoria para
transmissão de
dados em redes de
distribuição



Situação Problema

- ▶ **Você:** consultor de planejamento de SEP.
- ▶ **Desafio:** Concessionária quer instalar medidores em pontos da rede e investir em comunicação para implantar um **sistema de gerenciamento**

Primeira etapa:
levantamento de
possibilidades, tendências
e soluções.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)



Resolução da SP

► Estudo inicial necessário:

- Como deverá ser feita a supervisão e controle?
- Utilizando as três principais funções:
- Operação instantânea;
- Planejamento da operação;
- Reporte da operação.



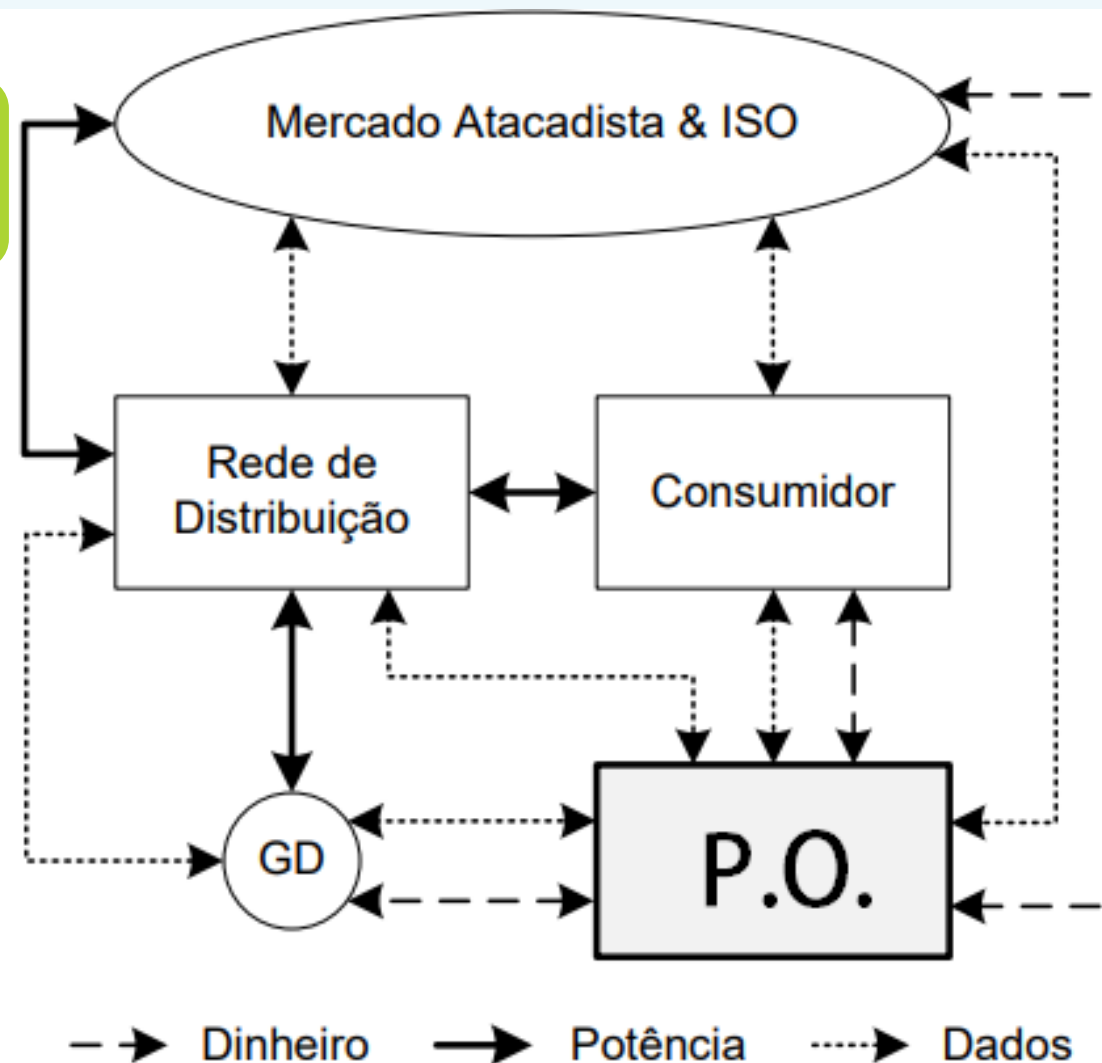
Operação instantânea

- Religador automático
- Seccionador automático
- Relé-disjuntor
- Relé de religamento



Planejamento da operação

- Mecanismos de precificação de reativos
- Penalização de consumidores



EXERCÍCIOS





- Um dos grandes desafios para se implementar a automação dos sistemas de distribuição diz respeito à observabilidade da rede. Os sistemas de distribuição não são totalmente observáveis, de forma que o caminho para os chamados smart grids, ou redes inteligentes, passa obrigatoriamente por aumentar a observabilidade dos sistemas de distribuição.

Assinale a alternativa que define a observabilidade conforme o texto.

- a) Pessoas observando a operação da rede.
- b) A capacidade de um medidor instalado na subestação de definir o perfil de consumo da rede.
- c) O mapeamento das redes de distribuição por meio de drones.
- d) A disponibilidade de medidores e informações acerca da rede que permitam o cálculo das demais variáveis da rede em tempo real.
- e) A disponibilidade de pessoal qualificado para analisar os diagramas esquemáticos e interpretá-los.



- Os micro-PMUs são capazes de _____, analisar e comunicar medidas fasoriais de _____ com _____, necessária para as funcionalidades que são requeridas no controle automático dos sistemas de _____, podendo contribuir, inclusive, com a implementação de estimadores de estado neste tipo de redes.

Assinale a alternativa que completa adequadamente as lacunas.

- a) armazenar – tensão e corrente – alta precisão – transmissão.
- b) armazenar – potência ativa e reativa – alta precisão - transmissão
- c) armazenar – tensão e corrente – alta precisão – distribuição.
- d) armazenar – tensão e corrente – baixa precisão – distribuição.
- e) armazenar – potência ativa e reativa – baixa precisão – distribuição.



- O centro de controle da transmissão normalmente é implementado em uma sala de controle, que fornece ao operador uma visão geral de operação da rede. Neste centro de controle, as ações de controle remoto e controle local (ou mesmo manual) são monitoradas através de uma interface homem-máquina (HMI).

O equivalente ao centro de controle para os sistemas de distribuição é chamado de:

- a) Sistema de automação da distribuição.
- b) Sistema de gerenciamento da distribuição.
- c) Sistema de análise de distúrbios e faltas.
- d) Sala de controle e análise de estabilidade de rede.
- e) Subestação automática.



A condição operativa do sistema elétrico de potência (SEP) em regime permanente é caracterizada pelo módulo e pela fase (fasor) das tensões dos barramentos. Assim, os dados relativos aos fasores dos barramentos representam tanto o seu estado de operação do SEP quanto o seu comportamento.

Assinale a alternativa que apresenta corretamente as características dos Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS).

Escolha uma:

- a. A convenção para medição fasorial sincronizada define que o ângulo é 0° quando o valor do sinal é igual a zero coincide no mesmo instante da passagem do UTC (Tempo Universal Coordenado)
- b. Os fasores sincronizados, ou sincrofasores, podem ser entendidos como fasores medidos com relação a uma referência de tempo absoluta, podendo-se determinar a relação de fase absoluta entre medições feitas em diferentes localidades nos SEPs.
- c. Nos sistemas de medição fasorial sincroniza (SMFS) os dados de medição do sincrofasor são dados utilizados eventualmente pelo sistema de controle.
- d. Para a medição de ângulos de fase de forma sincronizada não é necessária uma referência de tempo.
- e. Os sincrofasores são assim denominados porque seu sincronismo vem da rede e o tempo de referência é definido pelo controlador do sistema.

INTERVALO

Sistemas Elétricos de Potência I

PROF. LUCAS CLAUDINO

CONCEITOS

SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO E SUAS FUNÇÕES



IMPORTANTE

► Estabelecimento de **bases de monitoramento e infraestrutura de comunicação!**

Consolidação do **SCADA** para implementar DMS



Aquisição de dados;
Monitoramento;
Controle;
Armazenamento;

Suporte à tomada de decisões;
Análise de dados.



Funcionalidades do DMS

- Manter a confiabilidade do sistema
- Manter padrão de qualidade
- Minimizar ocorrência de eventos indesejáveis
- Minimizar o tempo de permanência de ocorrências
- Prever a visualização da rede
- Ações de remediação e planejamento



Análise de conectividade da rede

- Interface georreferenciada
- Auxilia na identificação e localização de elementos da rede
- Analisa e mostra a alimentação por vários pontos da rede
- Auxilia no conhecimento do estado operativo da rede

Segurança para manutenção

- Chaveamento adequado para isolamento
- Gerenciamento: validar a programação do chaveamento de acordo com o modelo de rede
- Combo: chaveamento remoto e manual



Estimador de estado

- Obter o estado confiável baseado nos dados disponíveis da rede
- Var. interesse: limites de operação, estado dos equipamentos, necessidade de intervenção
- Necessidade: sincronismo em tempo real das variáveis

Aplicações de fluxo de carga

- Analisa o SEP em regime permanente
- Obtenção de tensão nas barras e fluxo de potência nos ramos
- Problema não linear -> métodos numéricos



Controle Volt-VAR

- Gerenciamento de níveis de tensão e potência reativa ao longo do alimentador
- Formas: regulador de tensão, LTC (*Load Tap Changer*) e banco de capacitores

Aplicações de corte de carga

- Consequência da instabilidade da rede
- Ações: on/off alimentadores não críticos, reconfiguração da rede, controle de tap de trafos
- Objetivo: redução da propagação de distúrbios



Balanço de carga via reconfiguração de rede

- Coordenação da entrega de energia
- Redução de perdas devido a sobrecarga
- Alívio de fluxo de carga

CONCEITOS

SP: Controle de
tensão em rede de
distribuição



Situação Problema

- ▶ **Você:** consultor de planejamento de SEP.
- ▶ **Desafio:** Concessionária quer **controlar a tensão da rede de distribuição**
- ▶ - Controle remoto dos dispositivos de controle

Primeira etapa: Como implementar? Quais equipamentos?



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020)



SP: resolução

- ▶ O que a empresa quer é um **controle Volt-VAR remoto** utilizando um **Sistema de Gerenciamento da Distribuição!**

Controle Volt-VAR

- Gerenciamento de níveis de tensão e potência reativa ao longo do alimentador
- Formas: regulador de tensão, LTC (*Load Tap Changer*) e banco de capacitores



SP: resolução – plano de trabalho

Identificação de equipamentos disponíveis



Identificar qual a infra de comunicação a empresa pode utilizar



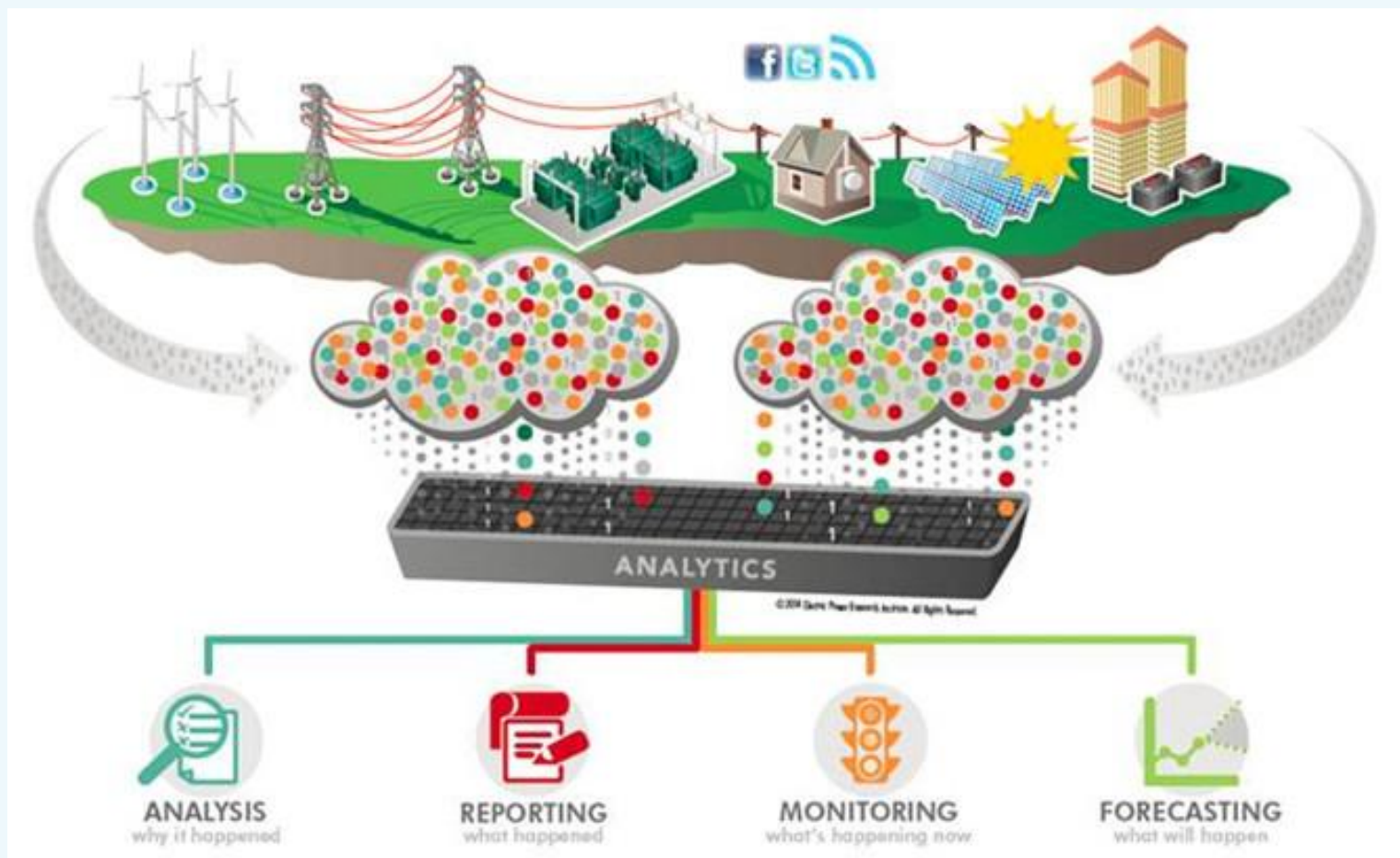
Estudar a alocação ótima ao longo da rede



Implementar controle ótimo a partir de dados

CONCEITOS

REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES



É uma rede elétrica com: **elevada integração de tecnológica, telecom, sensoriamento e automação.**

Fonte: disponível em <https://bit.ly/2XK955x> Acesso 16 abr 2020.



Impactos da REI



Pequeno



Moderado



Grande



Revolucionário



Por que precisamos do *smart grid*?



- Redução de CO2
- Redução do consumo (energia)
- Redução de custos operacionais
- Confiabilidade e segurança



- Melhoria da qualidade do serviço
- Redução de perdas
- Redução da ponta (potência)



Tecnologias: *smart meter*

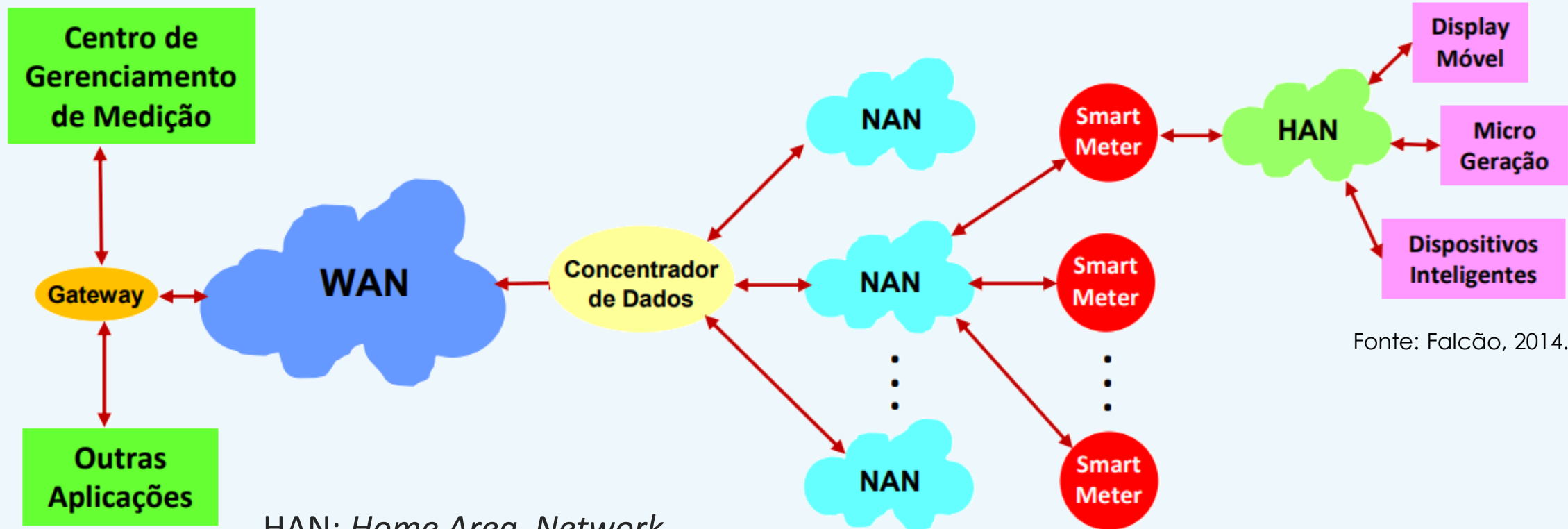
- Maior acurácia;
- Comunicação bidirecional;
- Medição em quatro quadrantes;
- Menos suscetível a fraude;
- Cálculo de índices de qualidade;
- Aquisição de várias informações;
- Comunicação remota



Fonte: <https://images.app.goo.gl/Dsg7bSzC6Mfpvyn28>



Advanced Metering Infrastructure



HAN: *Home Area Network*

NAN: *Neighbourhood Area Network*

WAN: *Wide Area Network*

Fonte: Falcão, 2014.



Telecomunicações para REI

Tecnologia	Aplicações em AMI
<i>Power Line Communications</i> (PLC)	HAN, NAN
Celular (3G, 4G)	WAN, NAN
WiFi	HAN
Wimax	NAN
Zigbee	HAN, NAN
RF Mesh	NAN
Fibra ótica	WAN
Satélite	WAN

Fonte: elaborada pelo autor.

EXERCÍCIOS





- Para implementar um sistema de gerenciamento da distribuição (DMS) é importante que as bases de monitoramento e a infraestrutura de comunicação estejam bem definidas. Em outras palavras, deve-se consolidar um sistema SCADA que permita o processamento das informações e a implementação das funções do DMS.

Assinale a alternativa que apresenta os requisitos para implementação de um sistema SCADA.

- a) Aquisição de dados, cálculo de curto-circuito, controle, armazenamento e análise de dados, aplicações de suporte à tomada de decisões e relatórios.
- b) Aquisição de dados, monitoramento e processamento de eventos, controle, armazenamento e análise de dados, aplicações de suporte à tomada de decisões e relatórios.
- c) Aquisição de dados, monitoramento e processamento de eventos, fluxo de carga, armazenamento e análise de dados, aplicações de suporte à tomada de decisões e relatórios.
- d) Aquisição de dados, cálculo de curto circuito, fluxo de carga, armazenamento e análise de dados, aplicações de suporte à tomada de decisões e relatórios.
- e) Aquisição de dados, cálculo de curto circuito, fluxo de carga, análise de estabilidade de tensão, aplicações de suporte à tomada de decisões e reporte.



- Nos sistemas de distribuição, _____ pode ocorrer devido às instabilidades ou condições imprevistas devido às características inerentes ao sistema, tais como os _____ e a demanda flutuante. As instabilidades ocorrem normalmente devido a _____ devido a faltas e falhas de esquema de proteção.

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas.

- a) o cálculo de curto circuito - múltiplos pontos de injeção de carga – oscilações.
- b) o corte de carga - múltiplos pontos de injeção de carga – oscilações.
- c) a previsão de cargas - múltiplos pontos de medição – sobrecorrentes.
- d) a estimação de estado- múltiplos pontos de medição – sobrecorrentes.
- e) o controle Volt-VAR - múltiplos pontos de medição – oscilações.



- Considerando um esquema de corte de cargas no sistema de distribuição, quando a rede é muito grande e complexa, as ações de emergência tomadas _____ a propagação de distúrbios ou as consequências indesejáveis em outras partes da rede. Em esquemas _____, o operador deve ser suprido de _____ necessária para realizar a intervenção de forma manual. Isso porque se as devidas ações não forem tomadas _____ o efeito em cascata dos eventos pode ter consequências mais catastróficas.

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas. a) Aumentam - não automatizados - toda informação – imediatamente.

b) Aumentam - automatizados - toda informação -no mesmo dia.

c) Reduzem - não automatizados - toda informação – imediatamente.

d) Reduzem - automatizados - toda informação – imediatamente.

e) Reduzem - não automatizados - pouca informação - no mesmo dia.