

Disciplina PEA5705

Análise de Redes Elétricas Inteligentes

Profs Nelson Kagan & Carlos Frederico M. Almeida



Geração Distribuída

Conceitos e definições

- ❑ Outras denominações da Geração Distribuída
 - Geração ao Lado da Carga
 - Geração Embutida
 - Geração Dispersa
 - Recursos Distribuídos

- ❑ Recursos distribuídos (RD)
 - RD é um conceito estendido de GD
 - Contemplam plantas de armazenamento

Geração Distribuída

Conceitos e definições

- ❑ **CIGRE 98**
 - Seu planejamento não é centralizado, não é despachável e é conectada à rede de distribuição

- ❑ **IEA (*International Energy Agency*)**
 - São unidades de geração servindo um consumidor no local, ou provendo suporte à rede de distribuição, em níveis de tensão inferiores

- ❑ **EU Directive 96–92**
 - São conectadas ao sistema de distribuição de baixa tensão

- ❑ **US DoE**
 - Operam de forma integrada ou individual, com geração de eletricidade pequena e modular localizada próximo à carga do consumidor
 - Permitem às concessionárias postergar investimentos em T&D, prover energia mais limpa, com melhor qualidade e confiabilidade aos consumidores

Geração Distribuída

Conceitos e definições

- “Considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos (...) conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição” (Decreto nº 5.163/04, art. 14)

- Tecnologias
 - UHE inferior a 30 MW
 - Cogeração com eficiência superior a 75%
 - Fontes renováveis – biomassa, eólica, solar FV, resíduos

Geração Distribuída

Conceitos e definições

□ Em resumo

- Uso de fontes de geração pequenas e modulares
- Integradas ou isoladas
- Instaladas no sistema de distribuição ou no lado do consumidor
- Não despachadas centralizadamente

□ Divisões por faixa de potência

- Micro: < 0,075MW (Res. ANEEL 482/2012 – Mod. Res. ANEEL 687/2015)
- Mini: 0,075 a 3 MW – PCHs (Res. ANEEL 482/2012 – Mod. Res. ANEEL 687/2015)
0,075 a 5 MW – demais
- Pequena: 3/5 a 30 MW
- Média: 30 a 50 MW
- Grande: 50 a 100 MW

Geração Distribuída

Conceitos e definições

- ❑ Características usuais:
 - Menor potência comparada com a geração convencional
 - Despacho não centralizado
 - Próxima ao centro de carga
 - Conexão ao sistema de distribuição (qualquer tensão)
 - Implantação posterior ao projeto e planejamento da rede

Geração Distribuída

Conceitos e definições

❑ Cogeração

- Processo de produção simultânea ou sequencial de duas formas de energia a partir de um insumo primário
- CHP: *combined heat and power*

❑ Trigeração

- Processo de cogeração que fornece simultaneamente energia, calor e frio

❑ Penetração da GD

- Relação entre a potência fornecida pela GD e a demanda atendida

Geração Distribuída

Conceitos e definições

- ❑ Sistema de Compensação de Energia Elétrica
 - Sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa

- ❑ Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras
 - Caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento

- ❑ Geração Compartilhada
 - Caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada

- ❑ Autoconsumo Remoto
 - Caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada

Introdução

Motivações para a Geração Distribuída

- ❑ Avanços tecnológicos
- ❑ Busca de eficiência
- ❑ Dificuldade de construção de grandes centrais
- ❑ Geração renovável e com baixa emissão de gases estufa (gás, biomassa, eólica, solar, etc.)
- ❑ Mudanças no setor elétrico
 - Res. ANEEL 482/2012 / Res. ANEEL 687/2015

Introdução

Motivações para a Geração Distribuída

□ Europa:

- Meta 20–20–20 (base 1990) em 2020
 - 20 % a mais de eficiência
 - 20 % menos de emissão de gases estufa
 - 20 % a mais de fontes renováveis

□ Europa, EUA e Japão

- Esgotamento das fontes convencionais (carvão)
- Restrição a usinas nucleares (antes e após Fukushima)

□ EUA:

- *Galvin Initiative*: “energia portátil”

Introdução

Motivadores Adicionais

- ❑ Alta eficiência na conversão de fontes primárias de energia

- ❑ Evita custos de transmissão adicionais, economias nos custos de distribuição
 - Dependendo da alocação da GD

- ❑ Possíveis melhorias na confiabilidade e qualidade de energia (*) do lado do consumidor e do lado do sistema, dependendo das circunstâncias

(*) aspectos discutíveis, dependendo do tipo de fonte e forma de operação

Introdução

Motivadores Adicionais

- Importante instrumento para explorar fontes renováveis:
 - Baixo impacto ambiental
 - Redução na importação de energia, pela utilização de fontes de energia locais
 - Possibilidade de subsídios para programas de desenvolvimento, em níveis nacional e internacional

- Possibilitar a criação de mercados abertos e competitivos de eletricidade

Introdução

Valor da Geração Distribuída

- ❑ Associação a fontes renováveis

- ❑ Menor porte
 - Menor tempo de construção

- ❑ Maior eficiência quando associada com cogeração

- ❑ Economia dos custos e perdas de transmissão e transformação:
 - 1 kWh injetado na distribuição vale aproximadamente 2 kWh de geração convencional(*)

(*) Fonte: EPRI – Integrating Distributed Resources into Electric Utility Distribution Systems , EPRI White Paper – 1004061 – Technology Review, December 2001

Introdução

Preocupações com Introdução de GD

- ❑ Aspectos técnicos: rede projetada para ser passiva (operação, engenharia, planejamento)
 - Despacho não centralizado
 - Não terem sido previstas nas etapas do projeto e planejamento da rede
 - Confiabilidade do despacho nem sempre garantida
 - “Opere com GD; planeje sem GD”

- ❑ Aspectos comerciais: oportunidades e ameaças, marketing e contratos

- ❑ Aspectos regulatórios: conflitos entre agentes que devem ser equilibrados (acesso, tarifa e mercado)

Geração Distribuída

Tecnologias Associadas

- ❑ As tecnologias utilizadas nas redes com GD abrangem uma grande variedade de dispositivos categorizados como:
 - Equipamentos de geração
 - Equipamentos de limitação de corrente
 - Aplicativos computacionais de simulação

- ❑ Apresentar breve menção de tecnologias de GD
 - Pouco utilizadas
 - Maduras
 - Emergentes

- ❑ Além das tecnologias apresentadas existem muitas outras

Geração Distribuída

Tecnologias Maduras

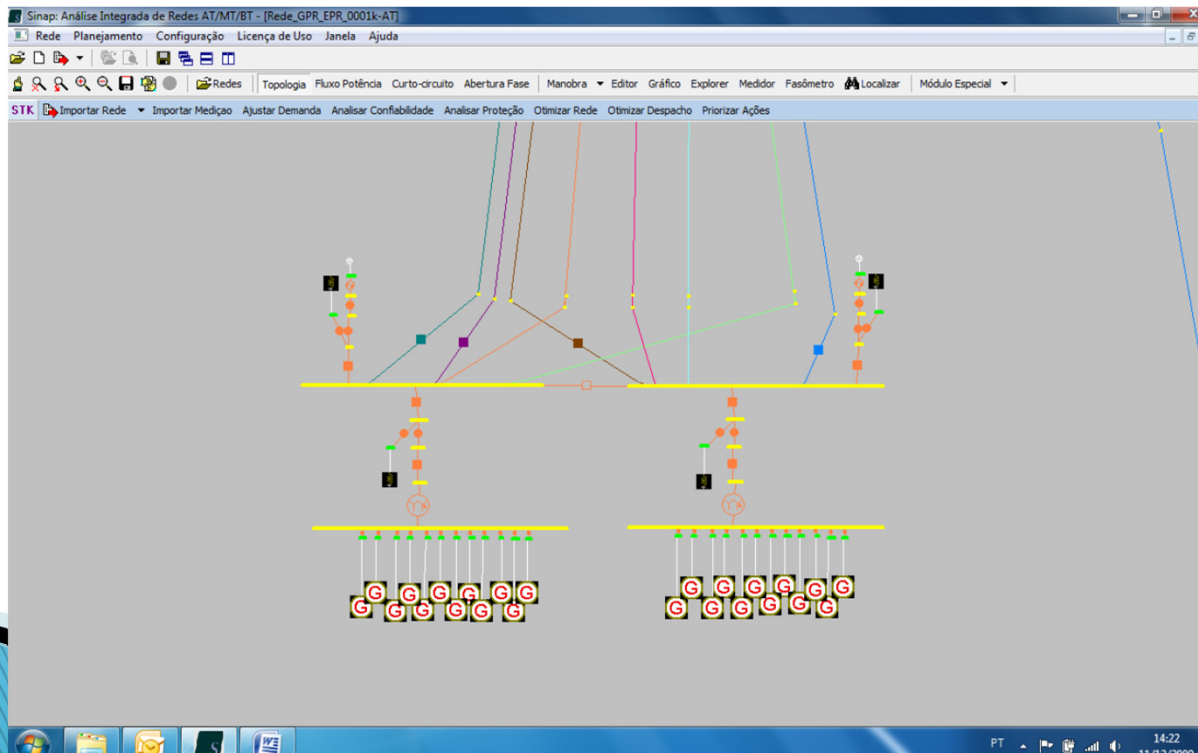
- ❑ Motores alternativos ciclo Otto ou Diesel
- ❑ Turbinas a vapor
- ❑ Turbinas para PCH
- ❑ Turbinas eólicas
- ❑ Fotovoltaica



Geração Distribuída

Tecnologias Maduras

- ❑ Caso Particular: Usinas de Biogás
 - Geração com motores a gás extraído de aterro sanitário
 - UTE Bandeirante: 20 MW
 - UTE São João: 24 MW
 - Incentivo com créditos de carbono



Geração Distribuída

Tecnologias Pouco Utilizadas

□ Microturbinas

- Uso com GN
- Alta rotação (> 40.000 rpm)
- Recuperação de calor
- Armazenagem de energia em baterias

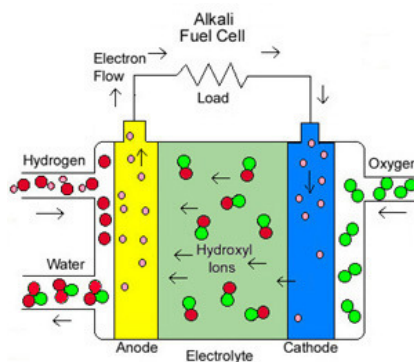


SP

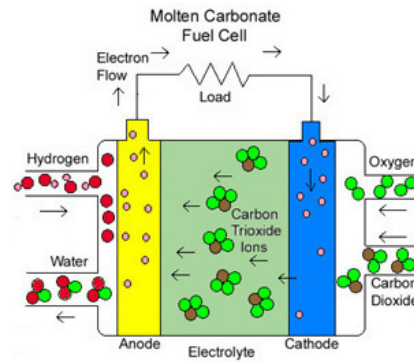
Geração Distribuída

Tecnologias Pouco Utilizadas

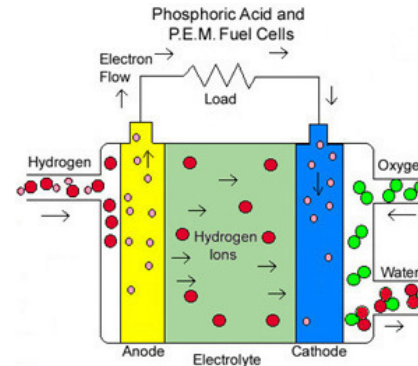
- ❑ Células a combustível
 - GN, GLP, gasolina
 - Recuperação de calor gerado



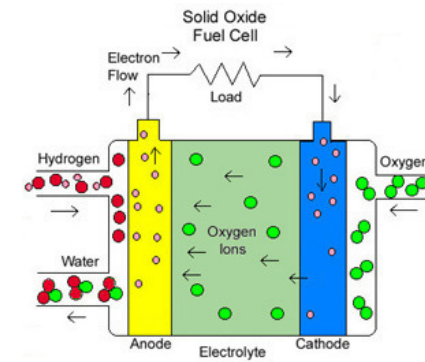
70 %
150 a 200 °C
0,3 a 5 kW



60 a 80 %
650 °C
2 MW



50/70 %
80/150 °C
200/250 kW



60 %
1000 °C
100 kW

Geração Distribuída

Tecnologias Emergentes

- ❑ Termossolar
- ❑ Micro-turbinas eólicas
- ❑ Piezolétrica

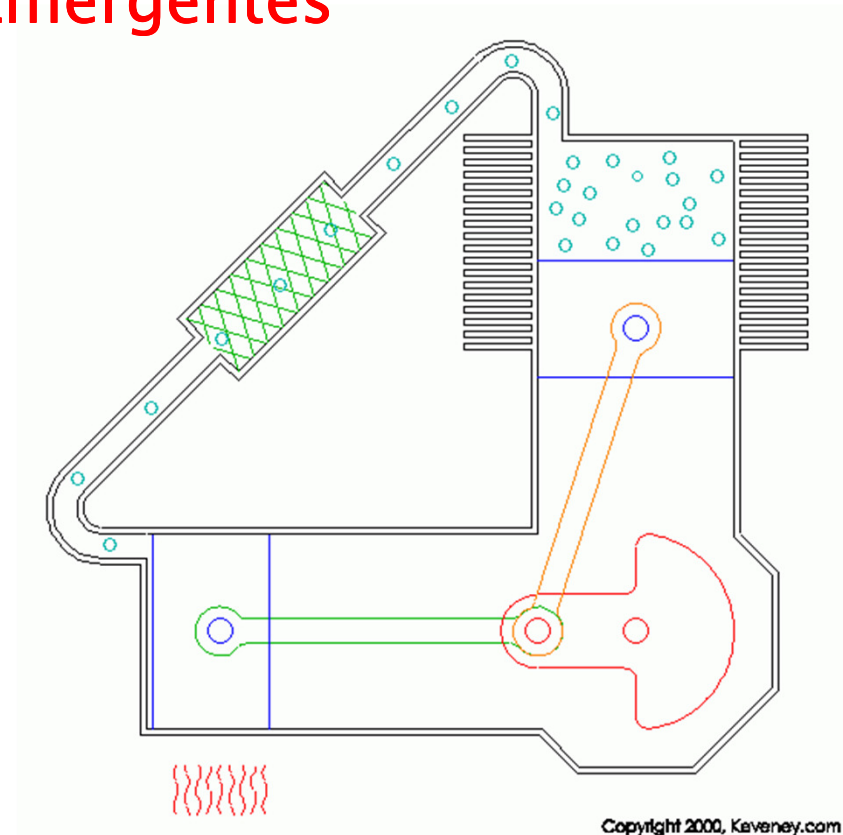


Geração Distribuída

Tecnologias Emergentes

Motor Stirling

- Ciclo fechado
- Combustão externa
- Regeneração
- Baixa potência



new efficiency world record of 32%

POLI USP

NAPREI
Redes Elétricas Inteligentes

Geração Distribuída

Tecnologias Associadas

□ Comparação

	Motor Diesel	Motor a gás	Turbina a gás	Micro-turbinas	Células a combustível	Tecn. biomassa
Situação de mercado	Comercial	Comercial	Comercial	Início 2000	Início entre 1996 e 2010	Comercial
Potência	25 kW a 20 MW	50 kW a 5 MW	500 kW a 30 MW	30 kW a 200 kW	50 kW a 1 MW	300 kW a 50 MW
Rendimento elétrico (%)	48	42	39	30	60	25
Rendimento total (%)	88	88	90	85	85	85
Vida útil (h)	50000	60000	120000	60000	> 40000	Variável
Disponibilidade (%)	92	94	97	95	84	Variável
Ruído (dB a)	115	115	90	80	60	Variável
Investimento (€/kW)	350	750	900	1000	5000	2000
Custo O&M (€/kWh)	0,02	0,015	0,008	0,01	0,02	0,05
Investimento adicional para cogeração (€/kWelétrico)	150	150	200	350	N/A	Variável

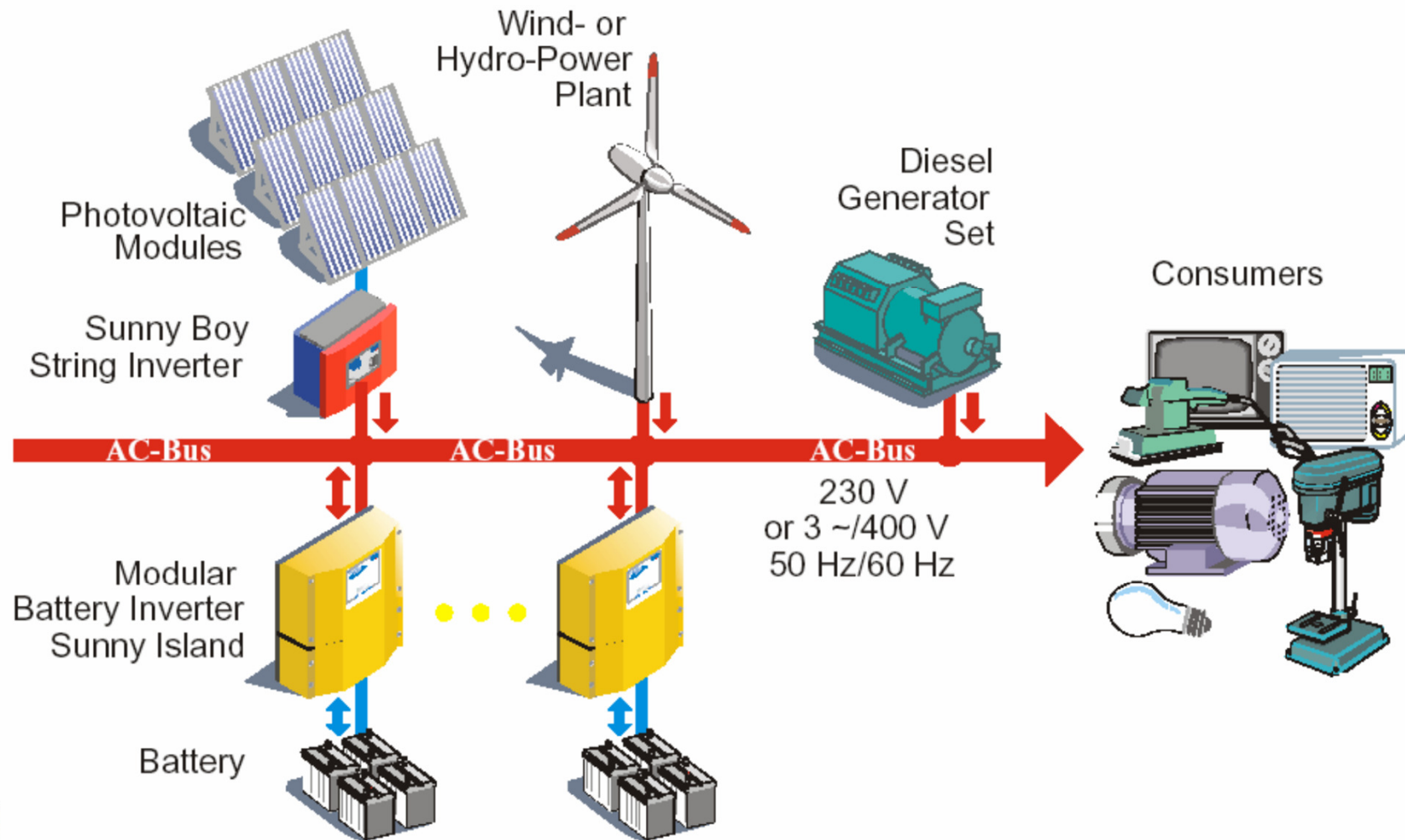
Geração Distribuída

Tecnologias Associadas

- ❑ As ferramentas de simulação de redes de distribuição convencionais não se aplicam a redes com GD
- ❑ Necessidade de modelos mais precisos e adequados às topologias:
 - Tratamento integrado da BT, MT e AT para análise de impactos e benefícios
 - Algoritmos em malha
 - Análise trifilar da rede

Geração Distribuída

Armazenagem de Energia



Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

- ❑ A armazenagem de energia é complementar a GD
- ❑ Permite regularizar o despacho das unidades GD
 - Intermitência das fontes renováveis
- ❑ Conceito inicial de *Smart Grid*
 - Energia “portátil”
 - Mudança do conceito de sistema elétrico *just-in-time* (o que é produzido menos as perdas precisa ser consumido)
- ❑ Cargas e gerações não coincidentes
 - Fotovoltaica gera somente de dia
 - Eólicas geram mais à noite, em geral
 - Alguns tipos de fontes podem gerar continuamente para maior viabilidade (ex. biogás)

Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

- ❑ Com suficientes recursos de armazenagem de energia elétrica o impacto negativo das GD torna-se nulo
 - Somente se fornece energia adicional requerida
 - Eliminam-se fluxos reversos e impactos nas proteções

- ❑ Permite alta penetração de GD

- ❑ Maior eficiência energética: nenhuma energia deixa de ser gerada somente porque não existem cargas no momento para absorvê-la

Geração Distribuída

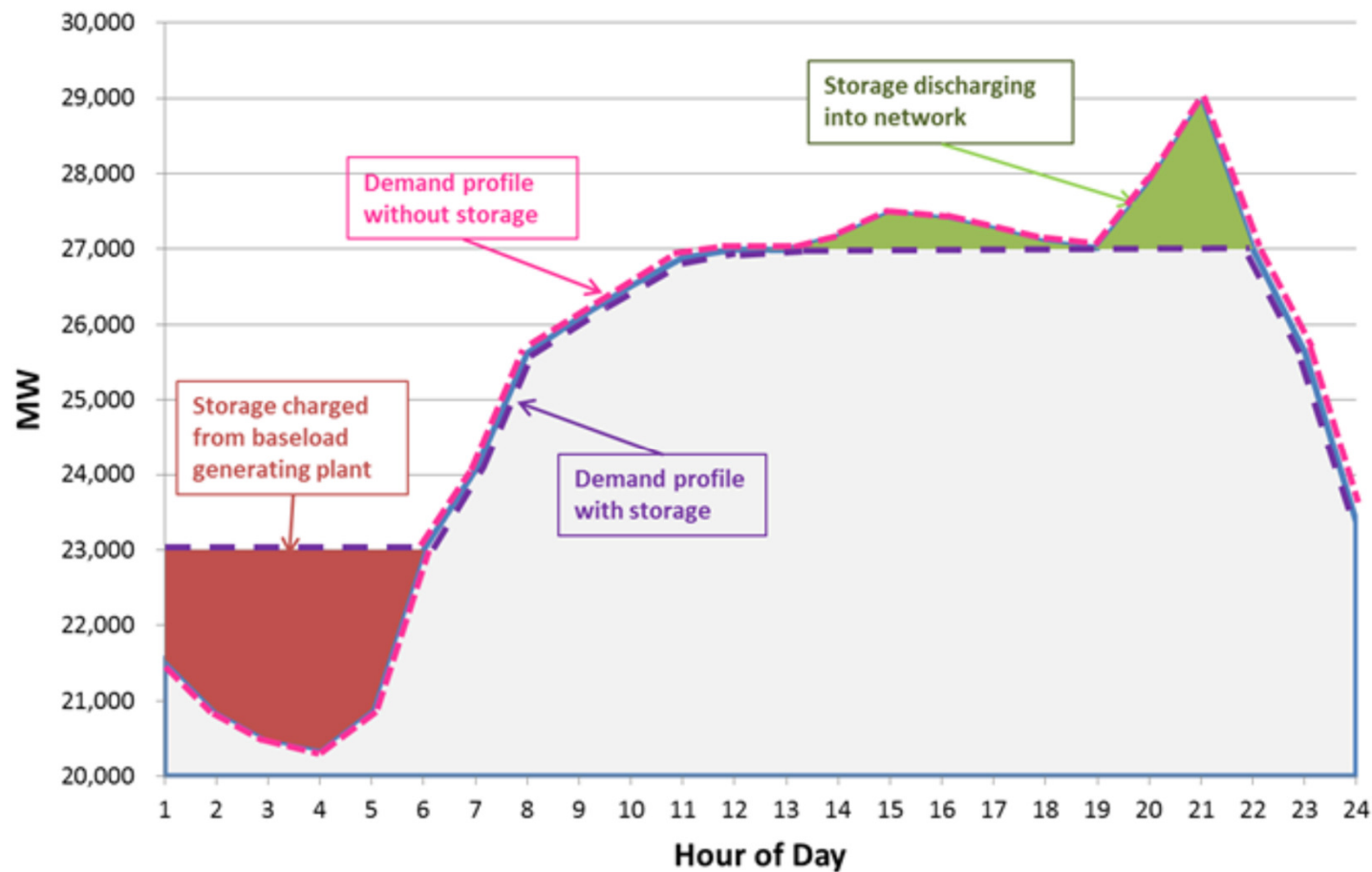
Armazenagem de Energia

- ❑ Continuidade do suprimento
- ❑ Controle de tensão
- ❑ Controle de fator de potência

Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

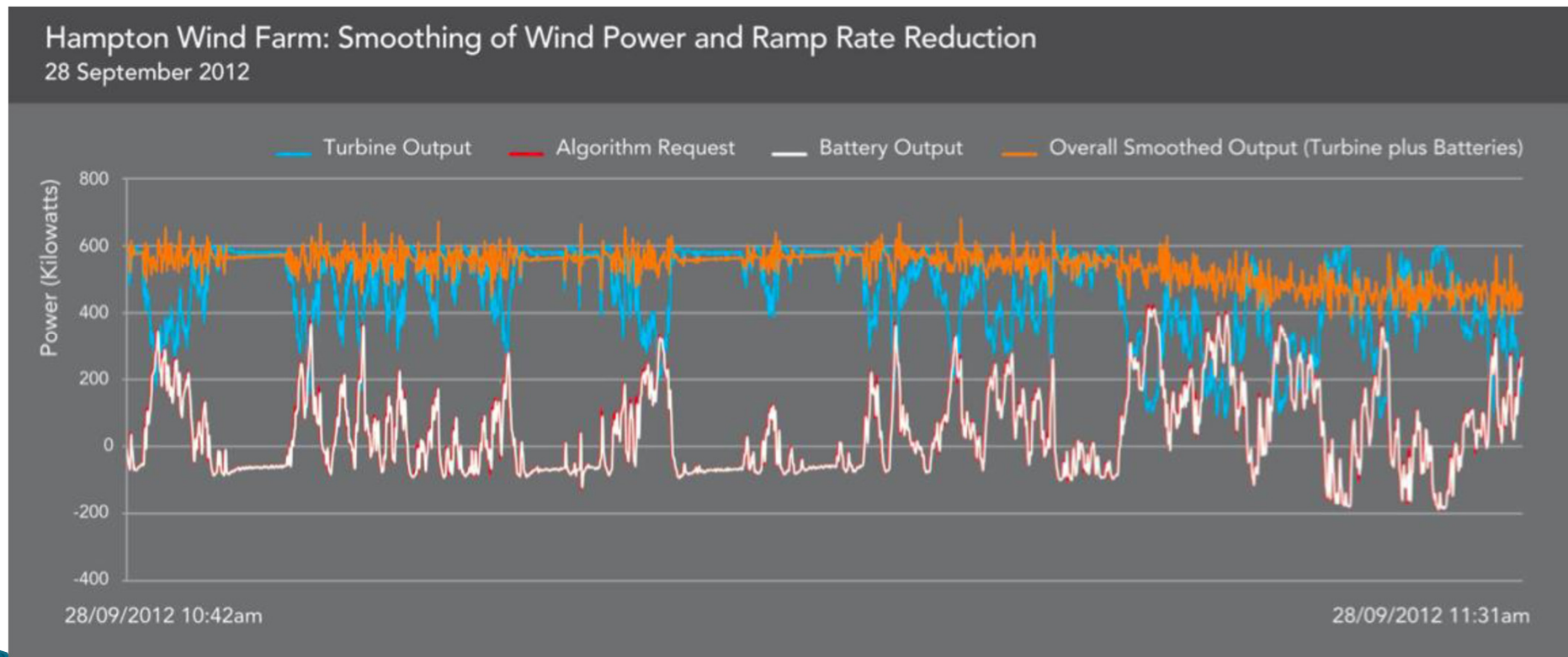
□ Peak shaving



Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

- ▣ Redução de variações de potência



Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

❑ Problemas:

- Preço
- Eficiência
- Vida útil e impacto ambiental (em alguns casos)

Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

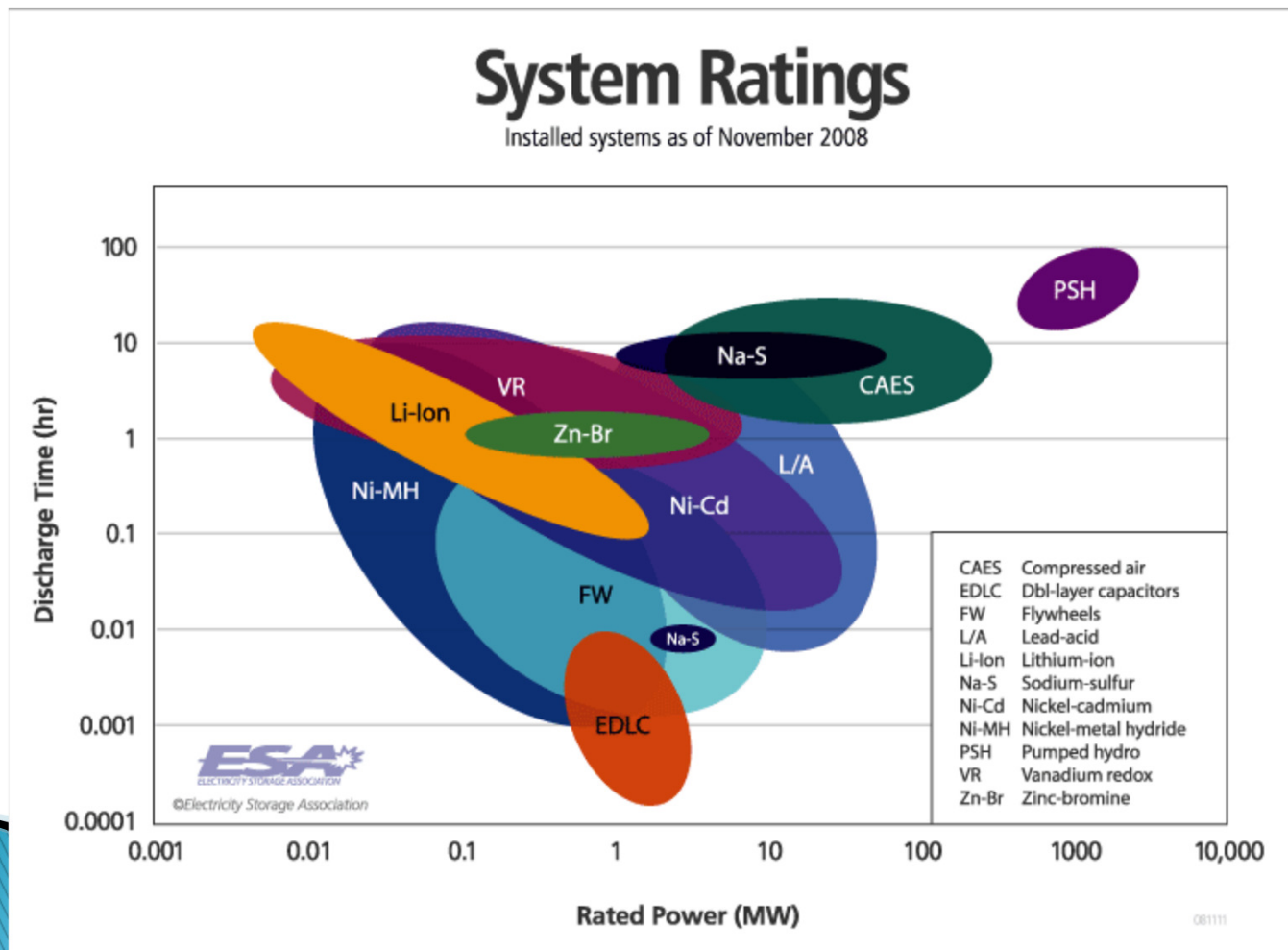
- Tecnologias
 - Hídrica–bombeável (pumped hydro)
 - Energia potencial
 - Ar comprimido (CAES)
 - Acionam turbinas
 - Baterias de vários tipos
 - Volantes (fly wheels)
 - Inércia
 - Supercapacitores



Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

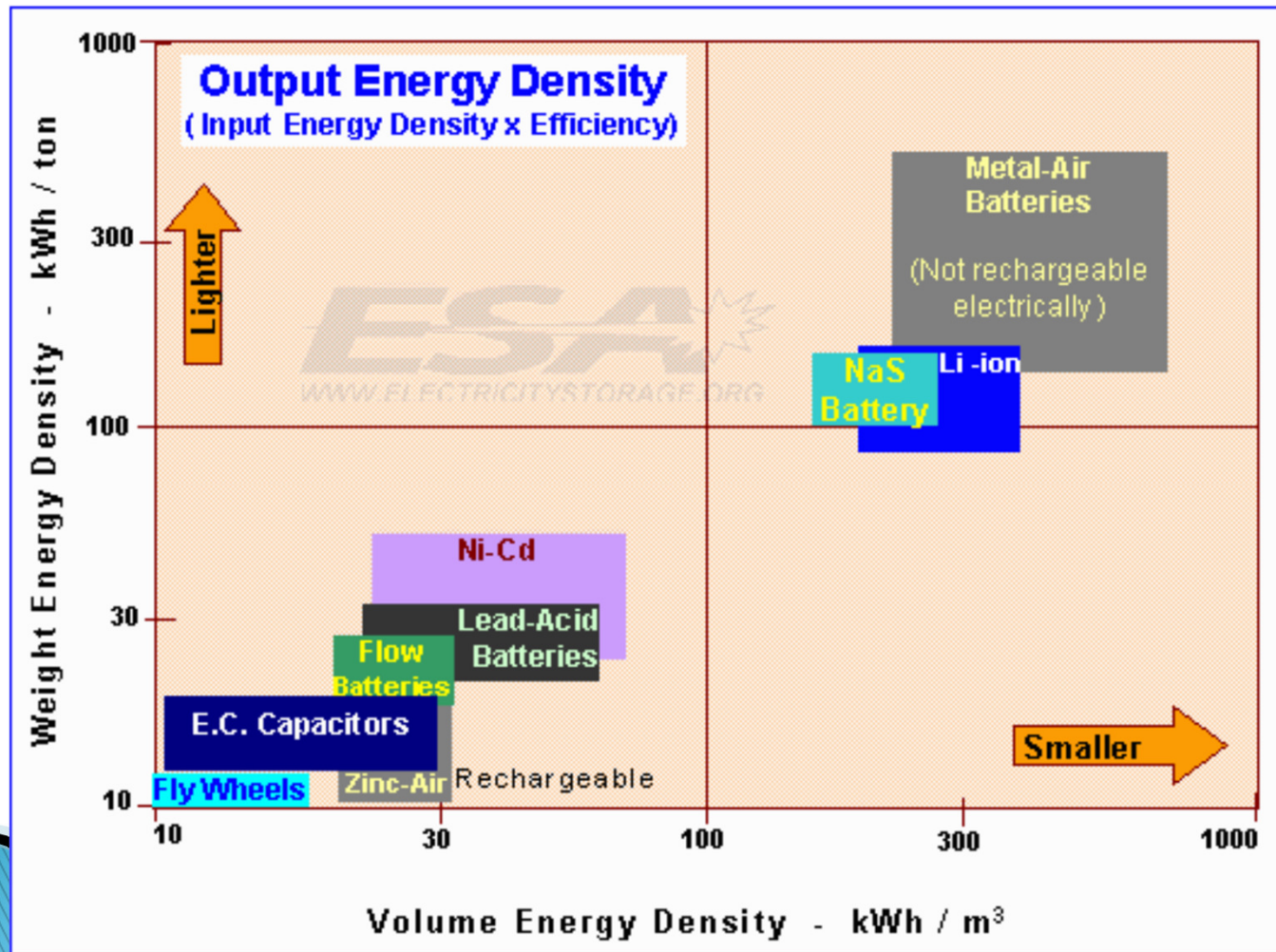
Comparações



Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

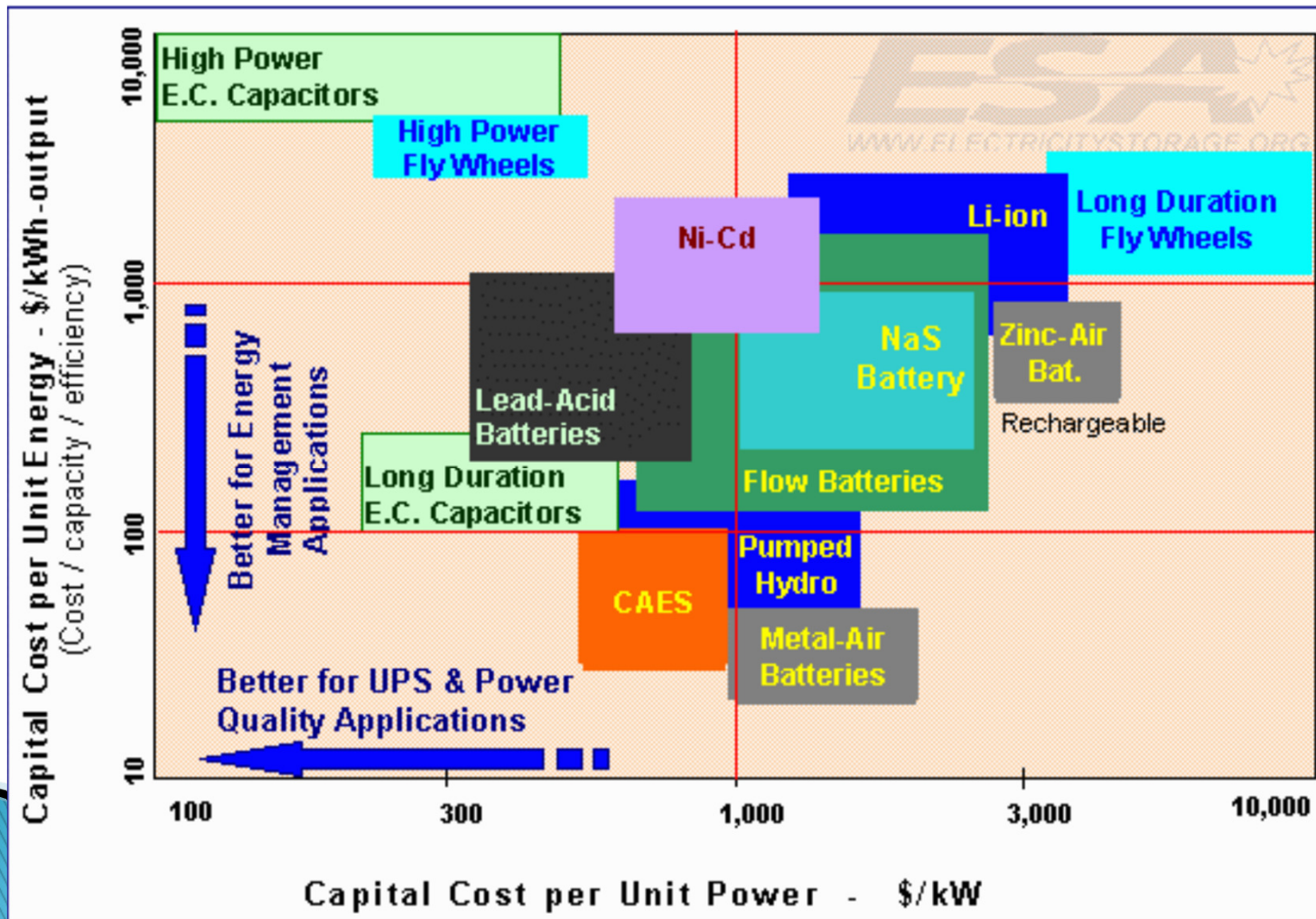
Comparações



Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

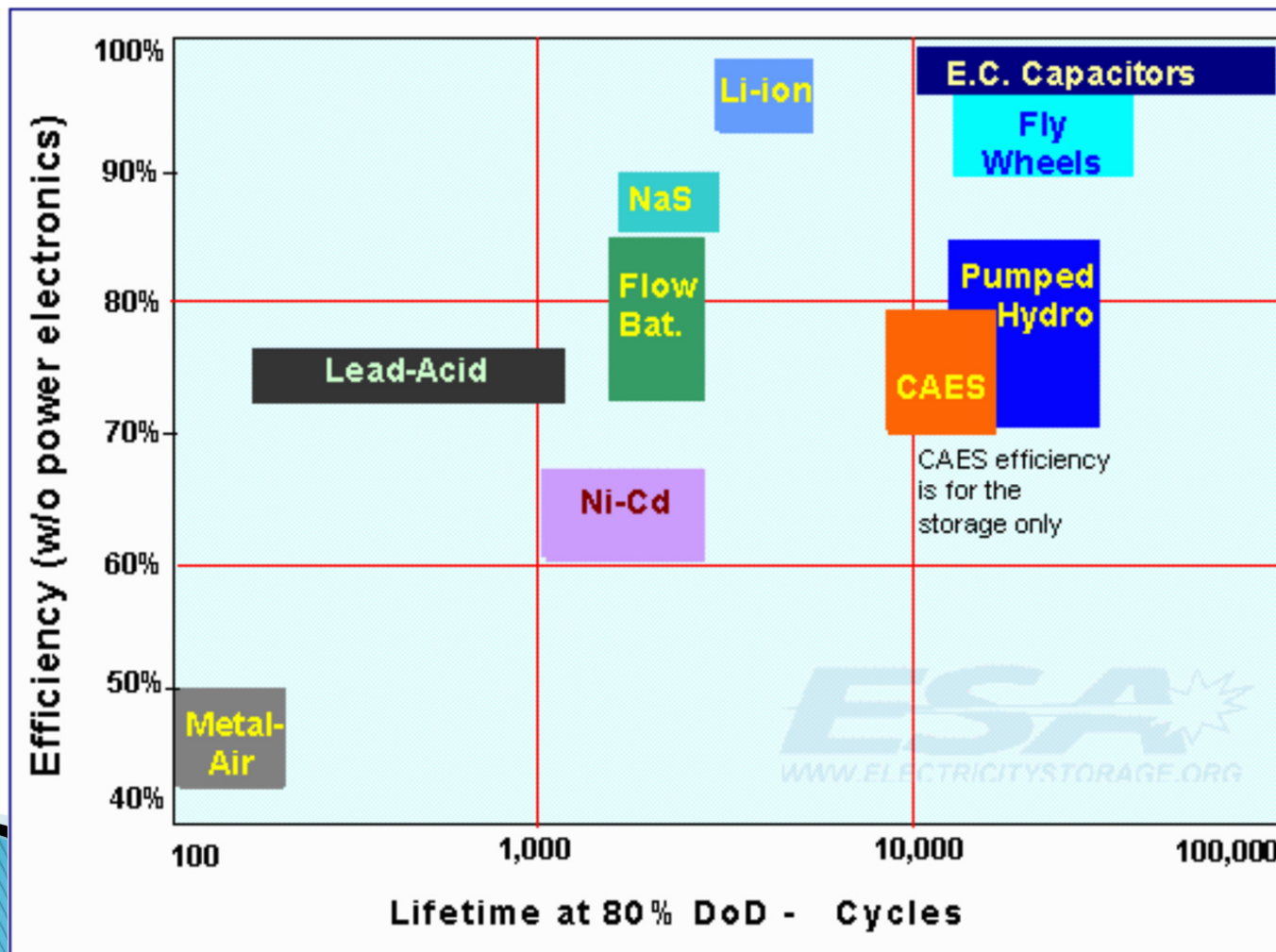
Comparações



Geração Distribuída

Armazenagem de Energia

Comparações



Geração Distribuída

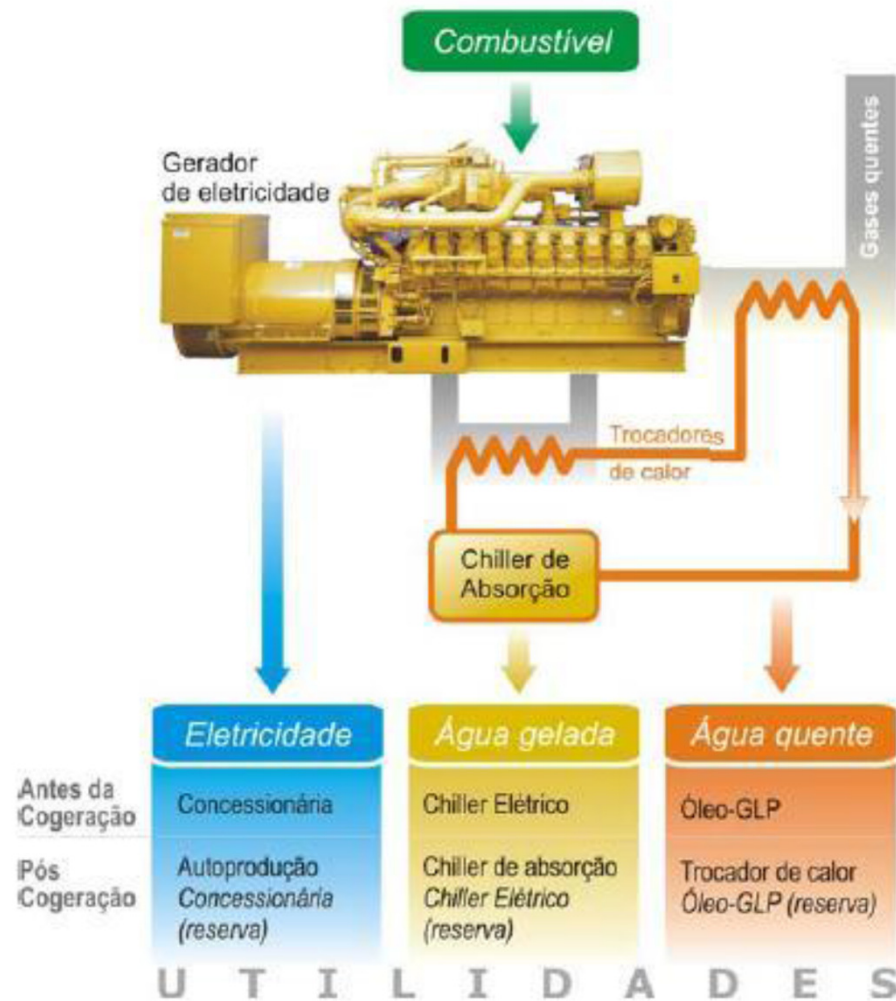
Armazenagem de Energia

□ Comentários

- O emprego de armazenagem de energia elétrica ainda não é difundido para aplicações em sistemas de potência no Brasil
- Na Europa e EUA o bombeamento de água é utilizado há algum tempo
- Existem grandes cavernas (300 mil a 500 mil m³) para armazenagem de ar comprimido nos EUA
- Novas tecnologias têm tido aplicações em subestações, como baterias NaS (sal fundido a base de sódio enxofre)

Geração Distribuída e Cogeração

Vantagens e Inconvenientes de Associar GD à Cogeração



Geração Distribuída e Cogeração

Vantagens e Inconvenientes de Associar GD à Cogeração

- ❑ Cogeração é essencialmente um processo de aumento de eficiência energética
- ❑ Dependendo da quantidade de insumo primário a geração pode ser maior que a carga gerando potencial para GD
- ❑ Algumas unidades de cogeração são utilizadas para reduzir a demanda de ponta apenas
- ❑ A ligação da concessionária é sempre *back-up* para a demanda total da instalação

Geração Distribuída e Cogeração

Papel das ESCO

- ❑ As prestadoras de Serviços de Energia (ESCO) atuam em geral associadas a grandes consumidores
- ❑ Usualmente assumem todo o investimento e custos de operação em troca de uma remuneração por período determinado
- ❑ Obtém ganhos pela maior eficiência de empreendimentos com cogeração ou redução de consumo na ponta

Impactos da Geração Distribuída

Geração Centralizada e Geração Distribuída

- ❑ A concepção do Sistema Elétrico de Potência (SEP) foi baseada em geração centralizada e controle de despacho
- ❑ O SEP opera *just in time*: a energia gerada é ajustada à consumida e perdida a cada instante

Impactos da Geração Distribuída

Agentes Envolvidos

- As redes com GD envolvem maior número de agentes
 - Distribuidoras
 - (DNO – *Distribution Network Operators*)
 - Geradoras
 - Prestadoras de Serviços
 - (ESCO – *Energy Service Companies*)
 - Sociedade
 - Órgão Regulador

Impactos da Geração Distribuída

Mudança do Paradigma da Distribuição

- ❑ As redes de distribuição foram projetadas para
 - Elementos passivos
 - Fluxo de potência unidirecional

- ❑ Com GD as redes se tornam
 - Ativas
 - Em malha

Impactos da Geração Distribuída

Benefícios

- ❑ Liberação de capacidade da T&D
- ❑ Redução de perdas técnicas da T&D
- ❑ Postergação de investimentos de expansão
- ❑ Aumento da segurança na compra de energia
- ❑ Potencial melhoria de confiabilidade
- ❑ Potencial melhoria de regulação de tensão
- ❑ Uso de fontes renováveis / redução de emissões de CO₂

Impactos da Geração Distribuída

Potenciais Problemas Associados com GD

- ❑ O impacto da GD sobre a rede de distribuição depende da potência, curva de geração e ponto de conexão, podendo criar problemas de:
 - Proteção
 - Segurança
 - Aumento de perdas técnicas da T&D
 - Confiabilidade (tanto técnica como dos insumos para geração)
 - Regulação de tensão

Impactos da Geração Distribuída

Impactos na Proteção

- ❑ As contribuições das GD aumentam as correntes de falta
- ❑ A corrente de falta não mais necessariamente diminui ao se afastar da subestação
- ❑ Podem existir fluxos inversos

Impactos da Geração Distribuída

Mudança do Paradigma da Distribuição

- ❑ O impacto da GD sobre o sistema depende do tamanho (potência nominal), localização e tecnologia (eólica, fotovoltaica, biomassa, etc.)
- ❑ Regra prática (*):
 - Se a corrente injetada pela GD for maior que 1 % da corrente de falta no local da conexão, então o impacto é relevante (regulação, cintilação, etc.)

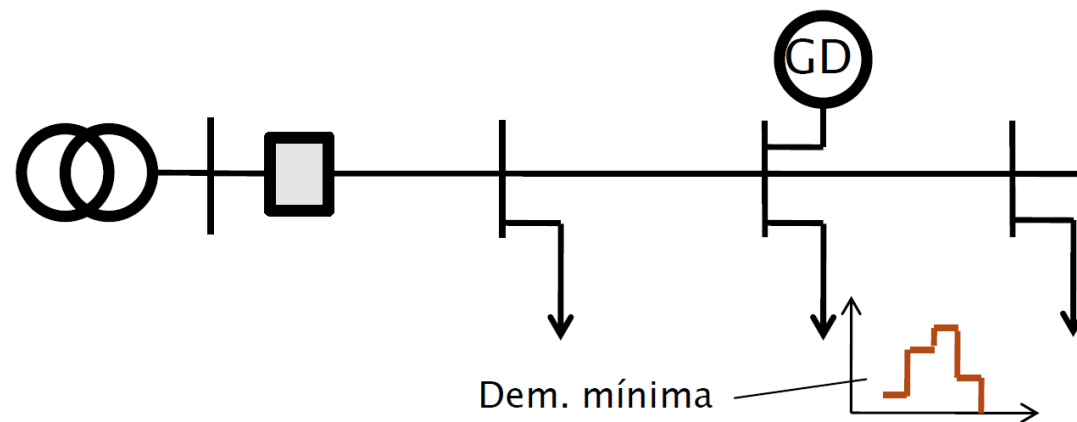
(*) Fonte: EPRI – Integrating Distributed Resources into Electric Utility Distribution Systems , EPRI White Paper – 1004061 – Technology Review, December 2001

Impactos da Geração Distribuída

Mudança do Paradigma da Distribuição

□ Regras Simples

- GD menor que a demanda mínima \rightarrow não há fluxo inverso
- GD menor que (dem. mínima + dem. nominal do alimentador) \rightarrow não há sobrecarga no alimentador (não vale para reticulados)



Carga (com avaliação probabilística)

Impactos da Geração Distribuída

Tecnologias Associadas

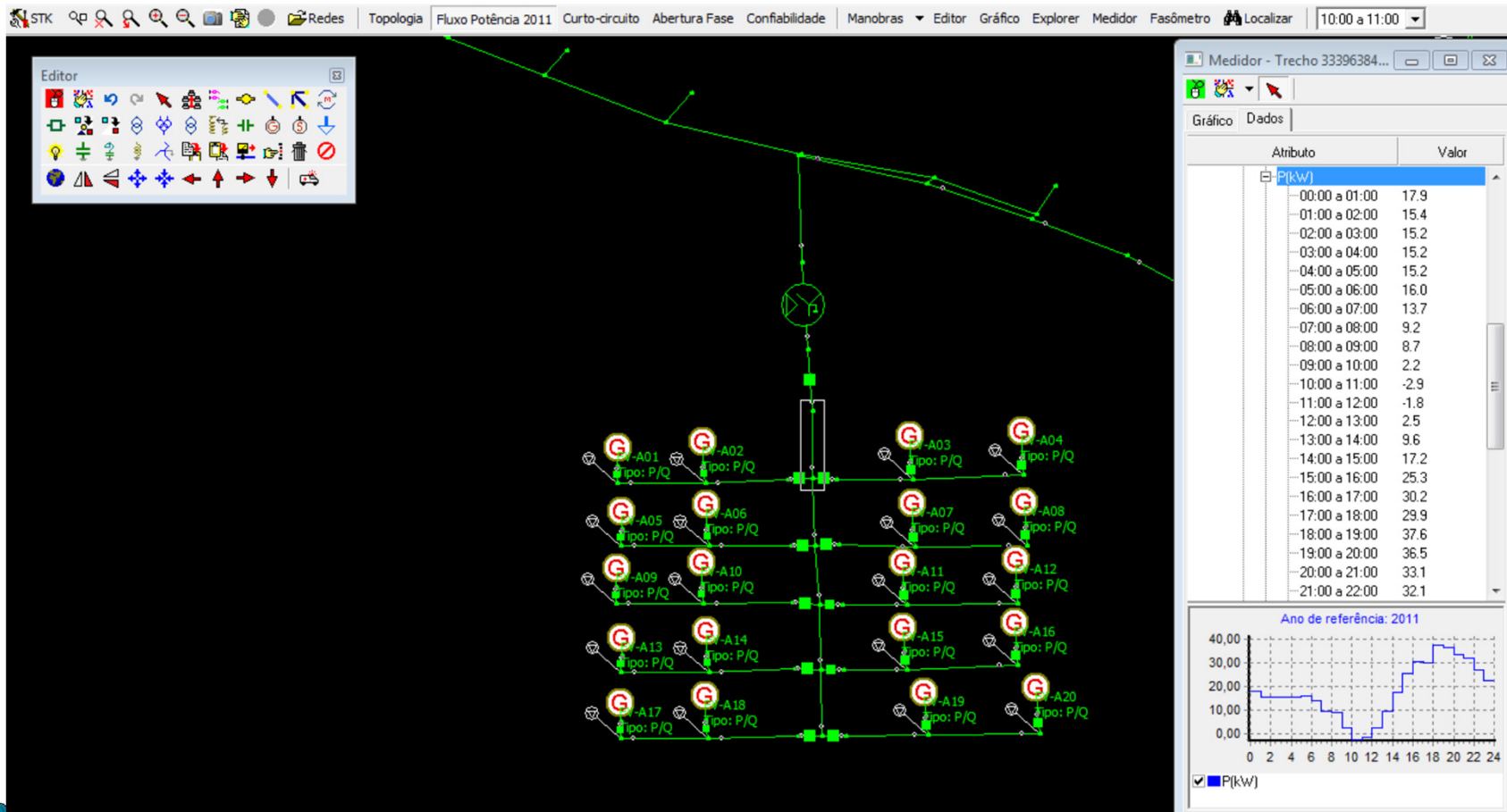
- ❑ O impacto de micro GD fotovoltaica é limitado:
 - Baixa potência das instalações
 - Baixa capacidade de curto-circuito
 - Geração limitada ao dia

- ❑ Micro GD eólicas
 - Ainda pouco difundidas, mas tendem a gerar no período noturno, com baixa carga na rede

- ❑ Pode haver impacto operacional na instalação de micro GD em áreas atendidas por redes de distribuição subterrâneas

Impactos da Geração Distribuída

Microrredes – Exemplo de Impacto



Aspectos Regulatórios

Situação Nacional

- ❑ Prodist – módulo 3
 - Trata do acesso ao sistema de distribuição em geral

- ❑ Resolução normativa 482/2012
 - Incentivo à microgeração
 - Remuneração por *net metering*

- ❑ Lei 12783 – 12/01/13 (origem MP 579):
 - Redução do preço da energia, logo piorou o tempo de retorno dos investimentos em microgeração (o despacho das termelétricas aliviou esse efeito por um período)

Aspectos Regulatórios

Net Metering x Feed-In

□ Net Metering

- Requer medição bi-direcional
- Requer apenas um medidor de energia
- Consumidor obtém créditos a partir do excedente gerado
- Os créditos acumulados são valorados através do valor de varejo da energia

□ Feed-In

- Exigem um medidor de energia extra
- O consumo de energia elétrica e geração de energia elétrica podem ser valorados separadamente
- Para cada kWh que você gerar você é pago
- É normalmente baseada em contratos de longo prazo (de 15–20 anos), nos quais os preços são pré-definidos acima do valor de varejo da energia e depreciados ao longo do tempo

Aspectos Regulatórios

Conexão à Rede

- ❑ A conexão deve ser realizada de modo conveniente para evitar distúrbios a outros clientes ou problemas de segurança
 - Estudo de acesso
 - Estabilidade
 - Perfil de tensão
 - Parecer de acesso

- ❑ Conexão rasa (*shallow*) ou profunda (*deep*):
 - Rasa: custos de conexão são da concessionária
 - Profunda: custos de conexão são do interessado

Aspectos Regulatórios

Comentários

- ❑ Os aspectos regulatórios não estão completamente resolvidos
- ❑ Na maioria dos países existem conceitos gerais de segurança do sistema (estudos de conexão) e pessoal (proibição do ilhamento não intencional)
- ❑ Tendência pró “conexão rasa” (a concessionária arca com custos de conexão e reforço)

Aspectos Regulatórios

Resolução Normativa 482/12 da ANEEL

- ❑ Limites de potência BT/MT
- ❑ Tipo de medição
- ❑ Proteções
- ❑ Sistema de compensação

Aspectos Regulatórios

PRODIST – Módulo 3

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	Menor ou igual a 75 kW	Maior que 75 kW e menor ou igual a 500 kW	Maior que 500 kW e menor ou igual a 5 MW
Elemento de desconexão ⁽¹⁾	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção ⁽²⁾	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento ⁽³⁾	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim ⁽⁴⁾	Sim ⁽⁴⁾	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim ⁽⁴⁾	Sim ⁽⁴⁾	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Sim	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim ⁽⁵⁾	Sim ⁽⁵⁾	Sim ⁽⁵⁾
Anti-ilhamento	Sim ⁽⁶⁾	Sim ⁽⁶⁾	Sim ⁽⁶⁾
Medição	Sistema de Medição Bidirecional ⁽⁷⁾	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

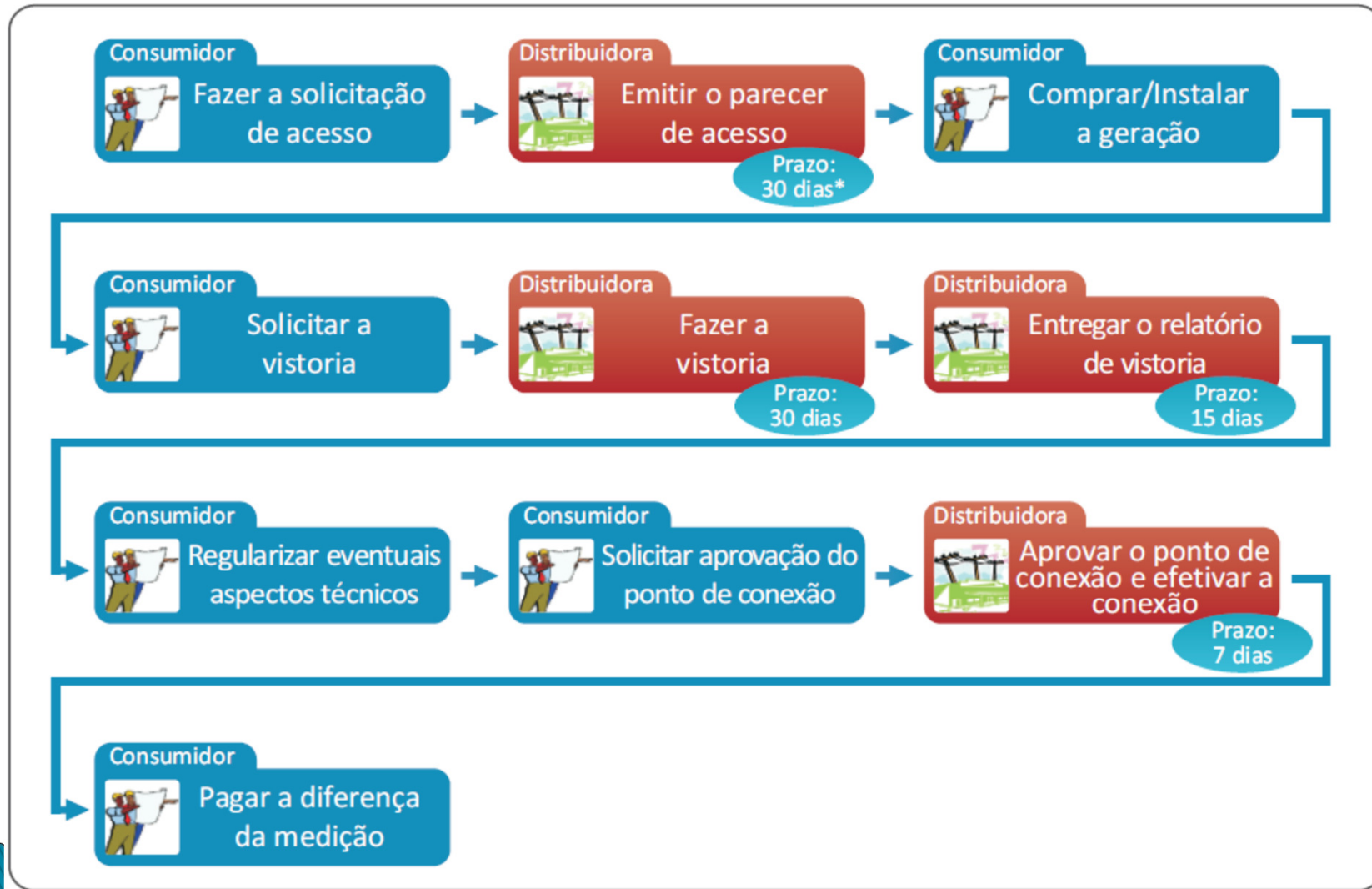
Notas:

- (1) Chave seccionadora visível e acessível que a acessada usa para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção em seu sistema, exceto para microgeradores e minigeradores que se conectam à rede através de inversores, conforme item 4.4 desta Seção.
- (2) Elemento de interrupção automático acionado por proteção para microgeradores distribuídos e por comando e/ou proteção para minigeradores distribuídos.
- (3) Transformador de interface entre a unidade consumidora e rede de distribuição.
- (4) Não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletroeletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção.
- (5) Não é necessário relé de sincronismo específico, mas um sistema eletroeletrônico que realize o sincronismo com a frequência da rede e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção, de maneira que somente ocorra a conexão com a rede após o sincronismo ter sido atingido.
- (6) No caso de operação em ilha do acessante, a proteção de anti-ilhamento deve garantir a desconexão física entre a rede de distribuição e as instalações elétricas internas à unidade consumidora, incluindo a parcela de carga e de geração, sendo vedada a conexão ao sistema da distribuidora durante a interrupção do fornecimento.
- (7) O sistema de medição bidirecional deve, no mínimo, diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica ativa injetada na rede.



Aspectos Regulatórios

Procedimentos e Etapas de Acesso



Aspectos Regulatórios

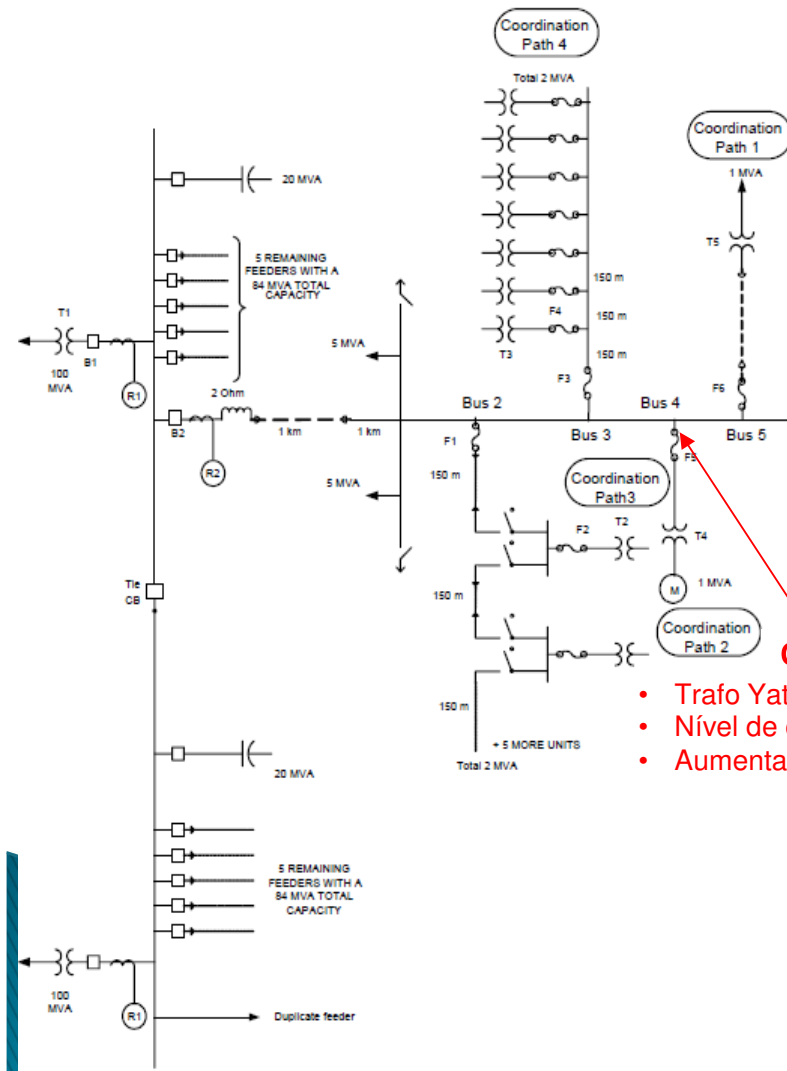
Resolução Normativa 482/12 da ANEEL

- ❑ A resolução ANEEL 482/12 visa incentivar a microgeração de fontes renováveis
- ❑ O retorno do investimento depende do preço dos equipamentos e tarifa de energia
- ❑ A resolução não elimina a necessidade de Consulta de Acesso e Parecer de Acesso, mas, uma vez autorizados, esses empreendimentos não são controlados pelo Centro de Operação

Aspectos Técnicos

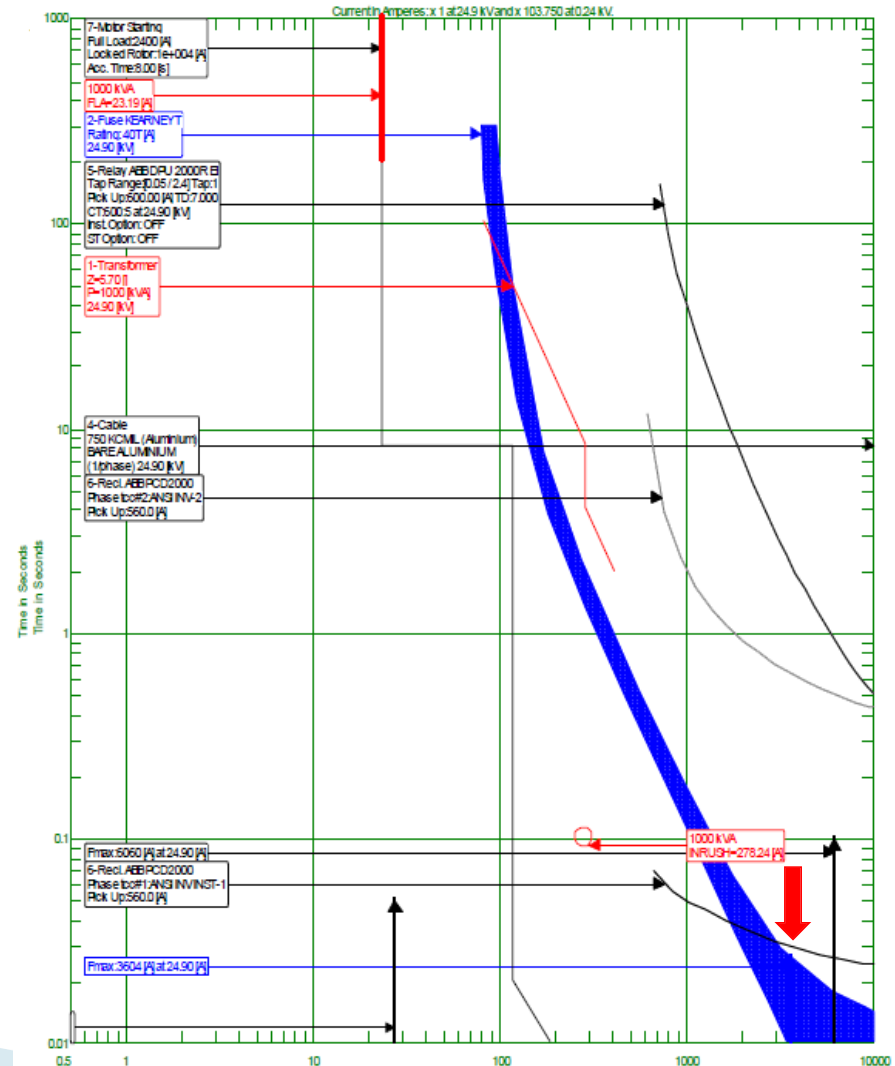
Proteção

❑ Problema de Perda de Coordenação



GD de 2MW

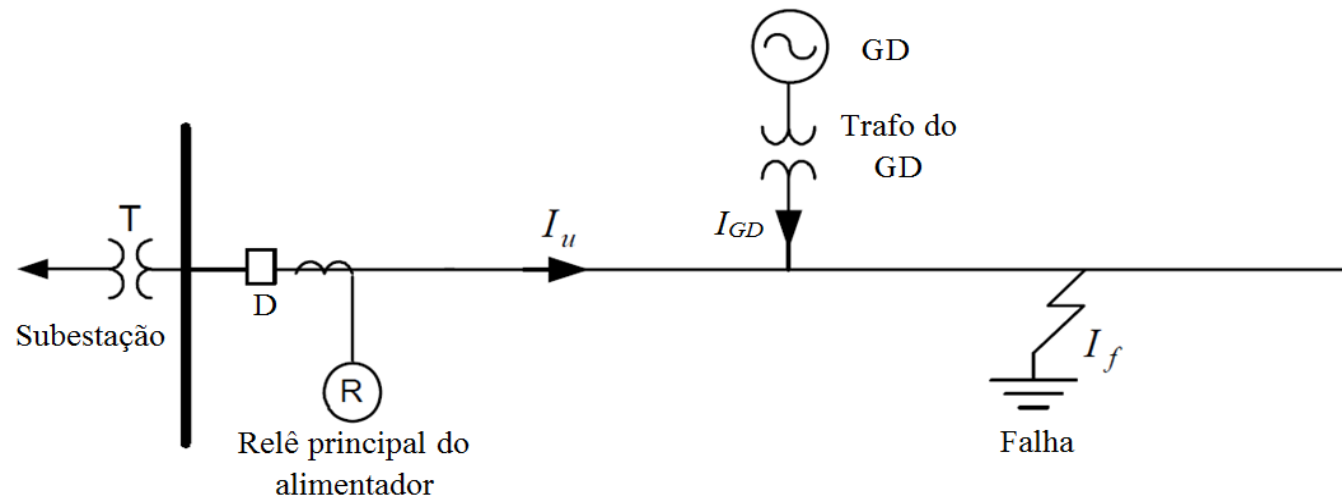
- Trafo Yat-Δ
- Nível de curto de 2836 A
- Aumenta para 3604 A



Aspectos Técnicos

Proteção

- ❑ Problema de Perda de Sensibilidade
 - A adição de GD pode reduzir o nível de corrente de curto-circuito provinda da SE
 - Afeta a operação do disjuntor ou religador da subestação com relação à habilidade de “perceber” a corrente de falta
 - Bastante dependente do tipo, tamanho e localização do GD



Aspectos Técnicos

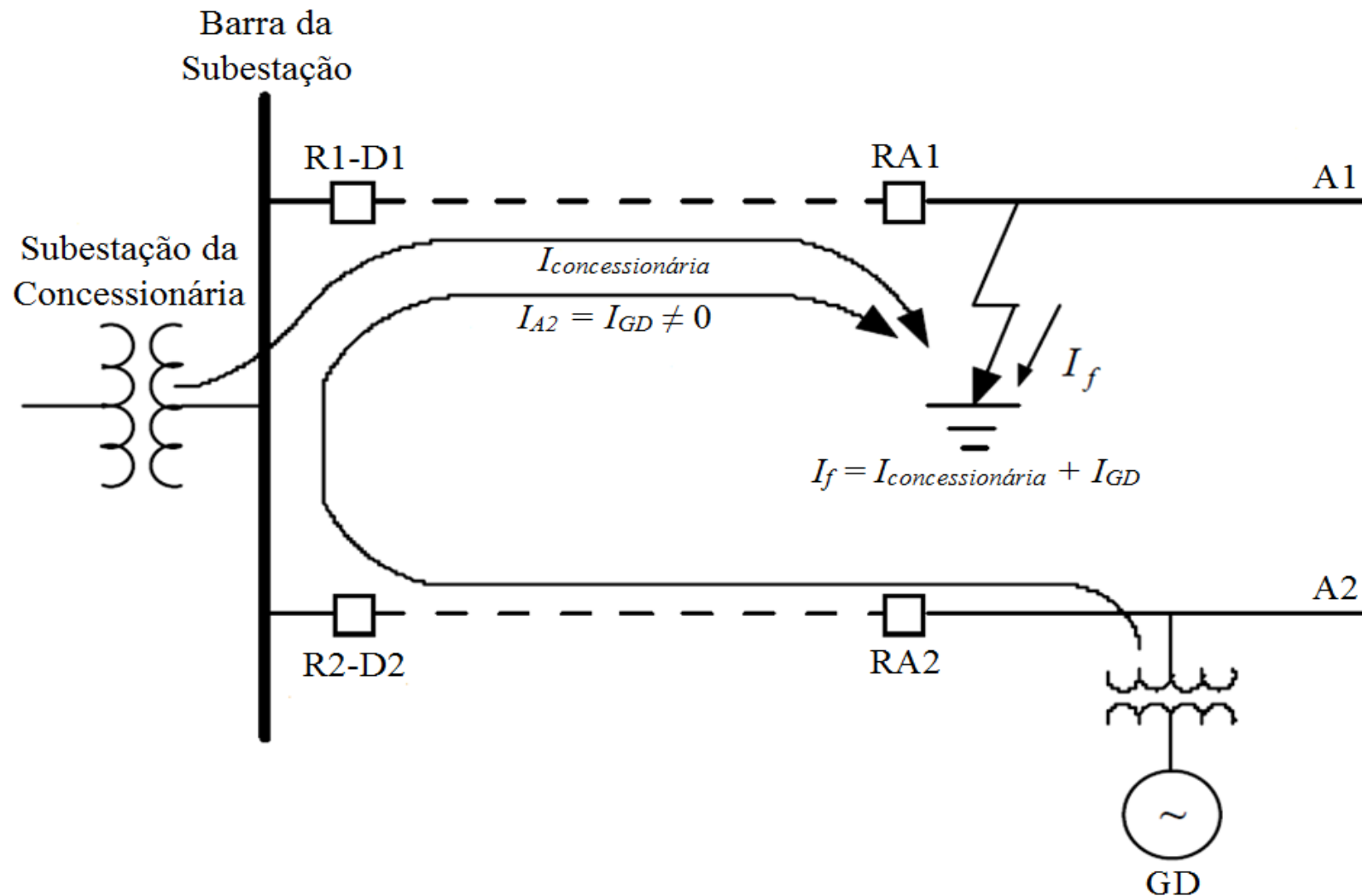
Proteção

- Problema de Bidirecionalidade
 - A instalação de GD pode ocasionar a bidirecionalidade em dispositivos de proteção
 - Leva ao mau funcionamento da proteção
 - Parte “saudável” do sistema pode ser desnecessariamente interrompida
 - Possibilita a retroalimentação de defeitos por meio de GDs instalados em alimentadores laterais adjacentes

Aspectos Técnicos

Proteção

❑ Problema de Bidirecionalidade

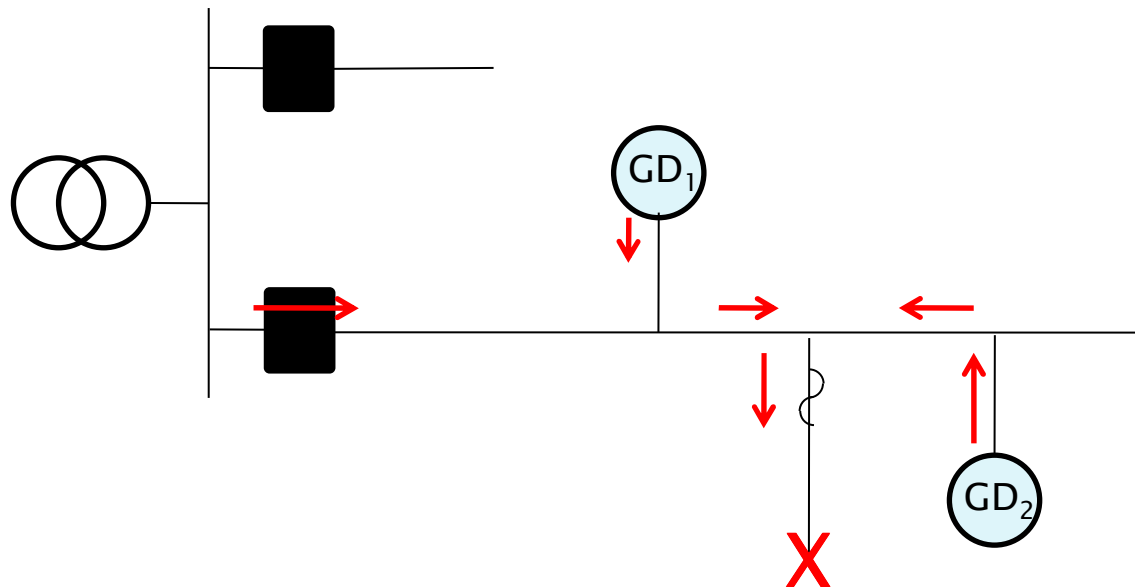


Aspectos Técnicos

Proteção

❑ Problema de Bidirecionalidade

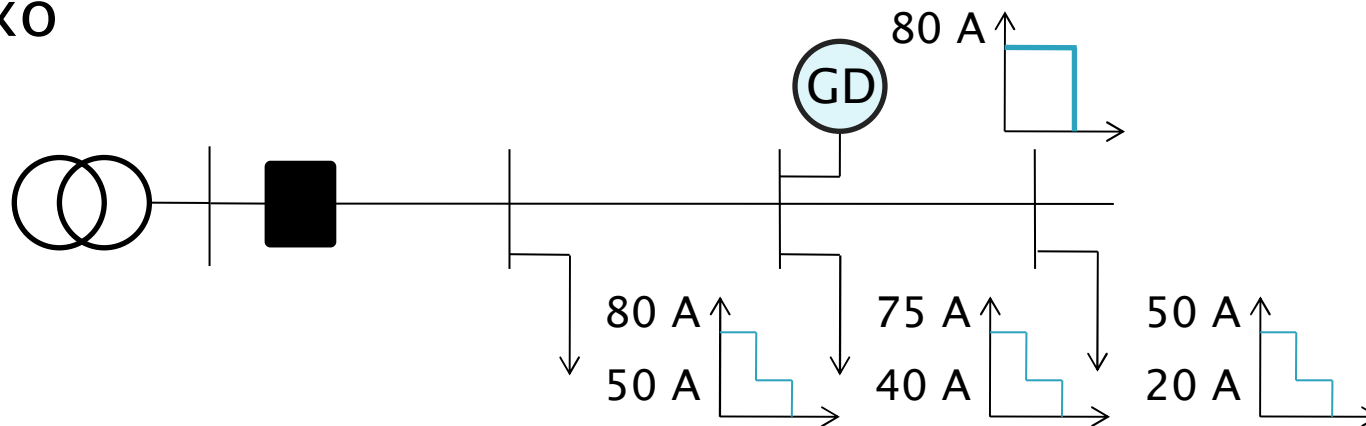
- A fusão de elos fusíveis pode ocorrer antes da abertura do disjuntor para faltas temporárias, aumentando custo de substituição



Aspectos Técnicos

Perdas técnicas e perfil de tensão

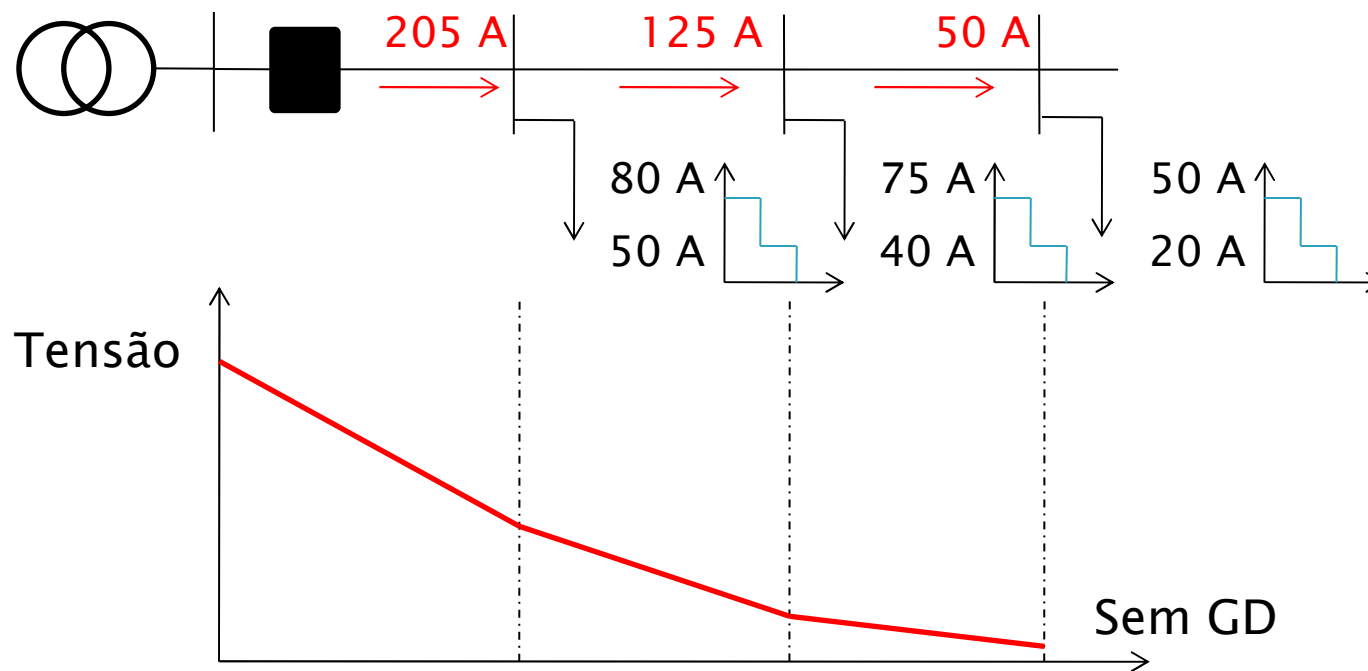
- ❑ O despacho da GD precisa ser compatibilizado com o carregamento sistema para melhorar a regulação e reduzir as perdas
 - Exemplo com dois patamares de carga e despacho fixo



Aspectos Técnicos

Perdas Técnicas e Perfil de Tensão

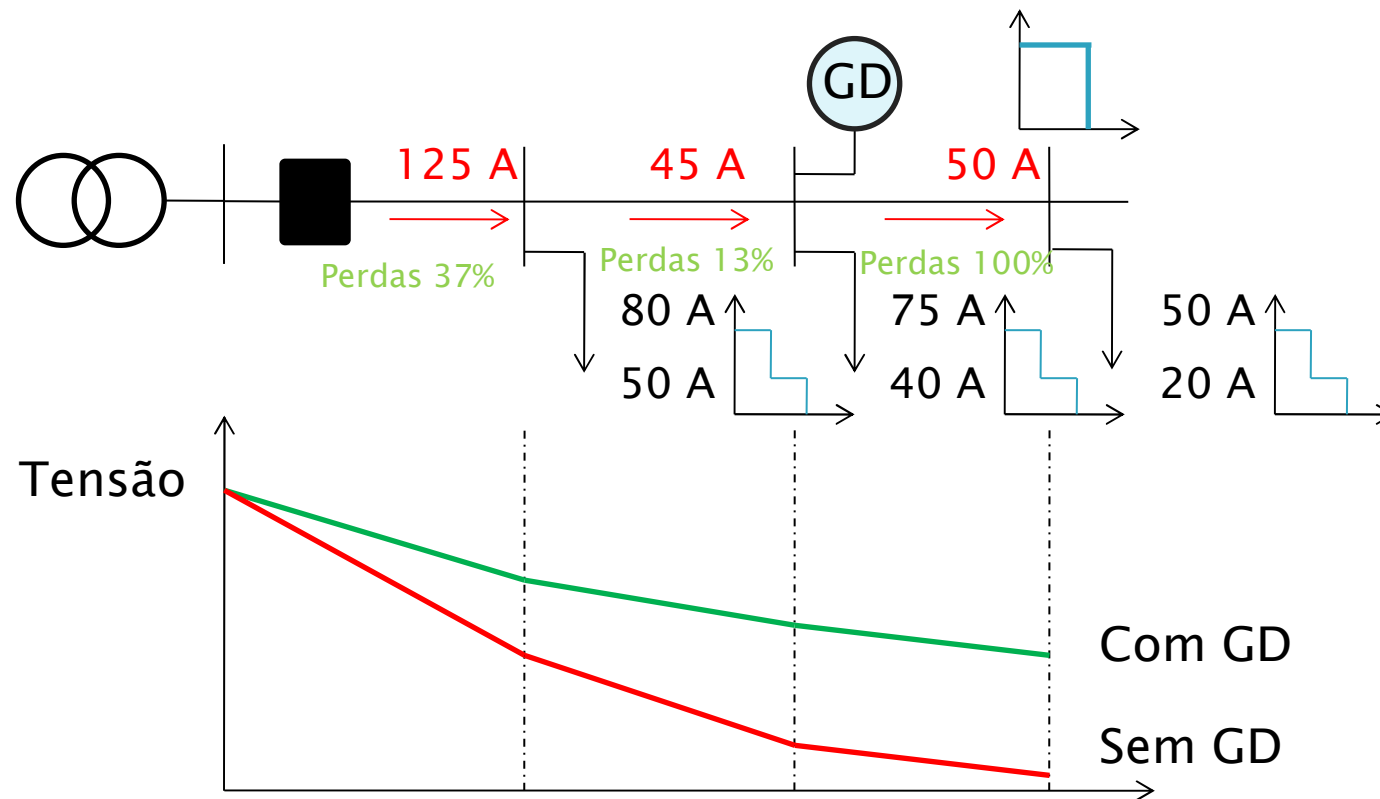
- Primeiro período de carregamento (sem GD)



Aspectos Técnicos

Perdas Técnicas e Perfil de Tensão

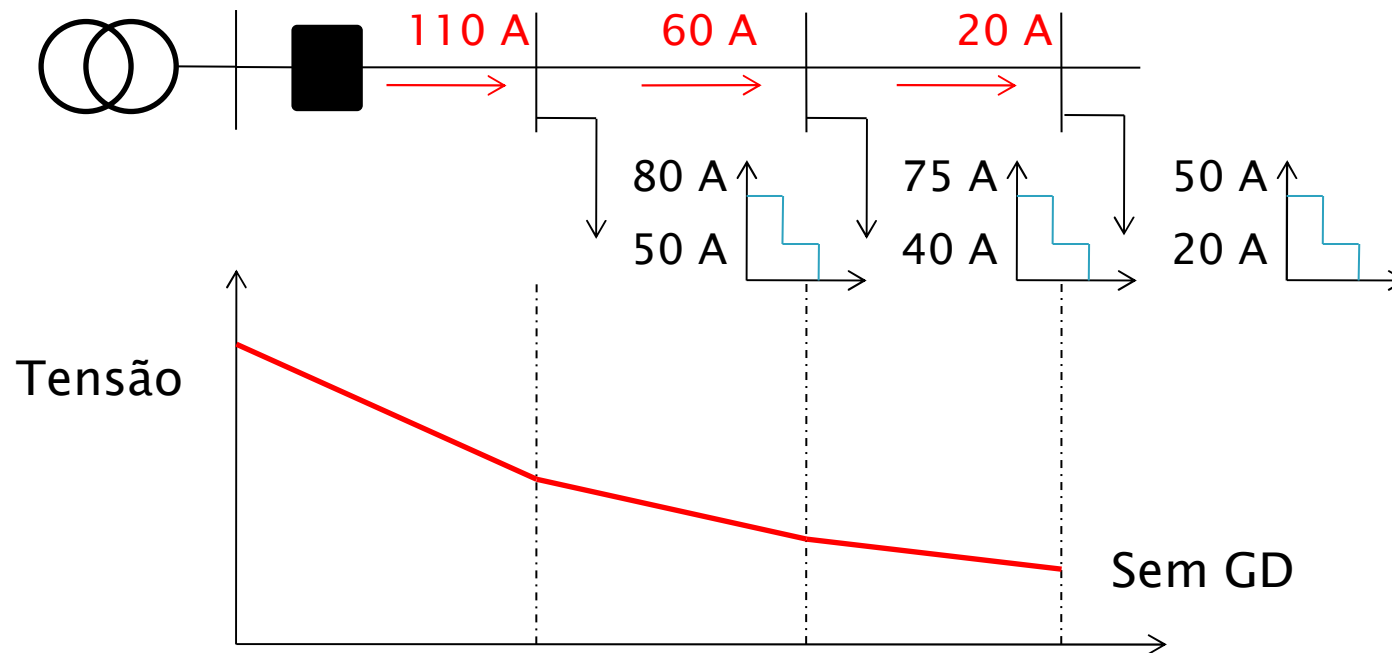
- Primeiro período de carregamento (com GD)



Aspectos Técnicos

Perdas Técnicas e Perfil de Tensão

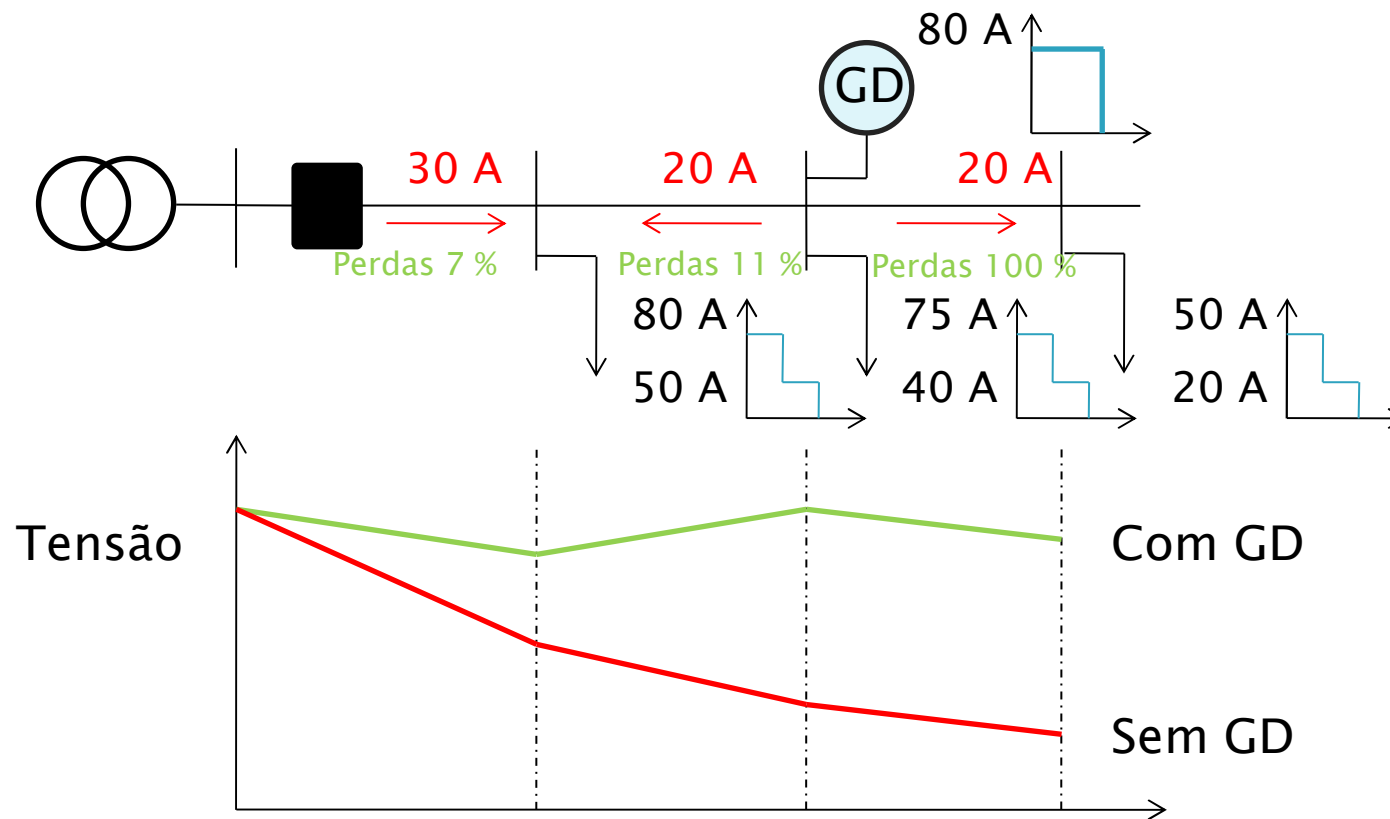
- Segundo período de carregamento (sem GD)



Aspectos Técnicos

Perdas Técnicas e Perfil de Tensão

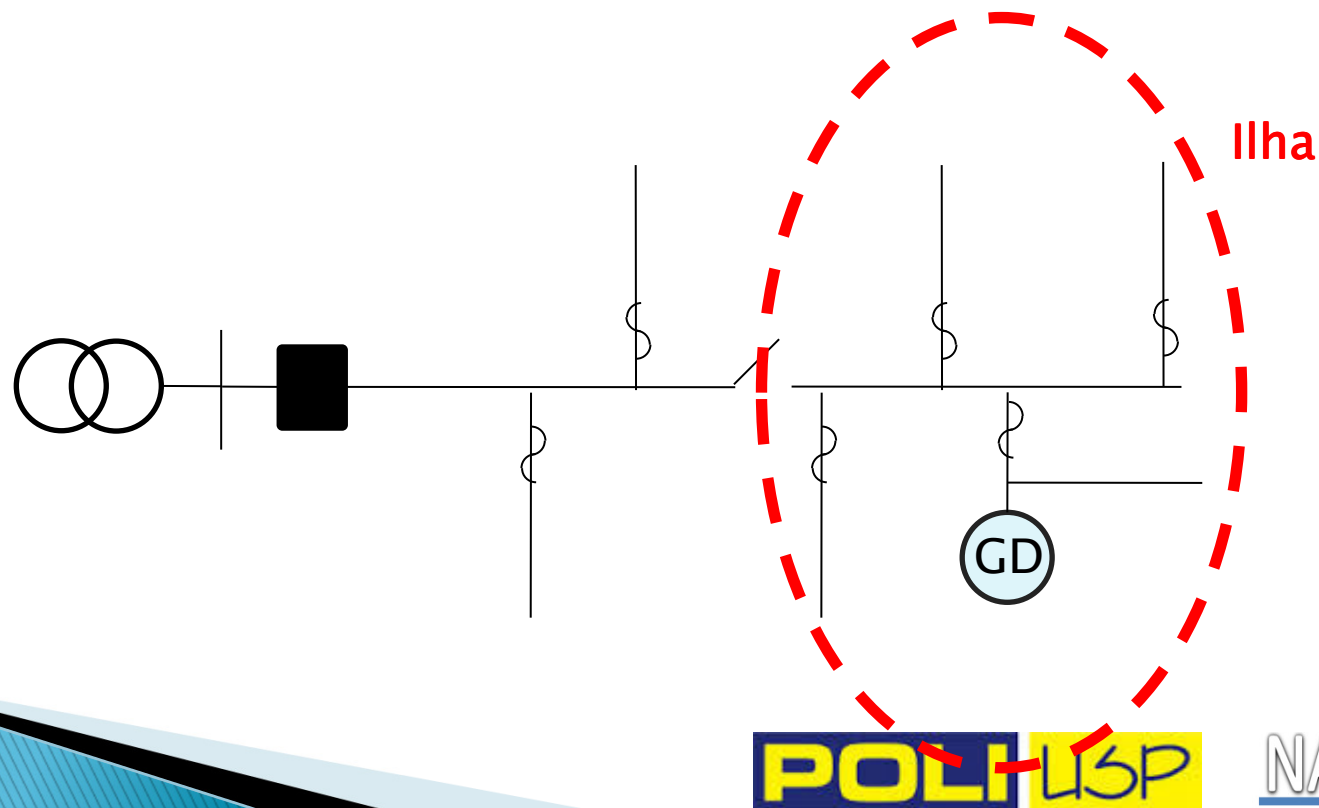
- Segundo período de carregamento (com GD)



Aspectos Técnicos

Benefícios de Confiabilidade

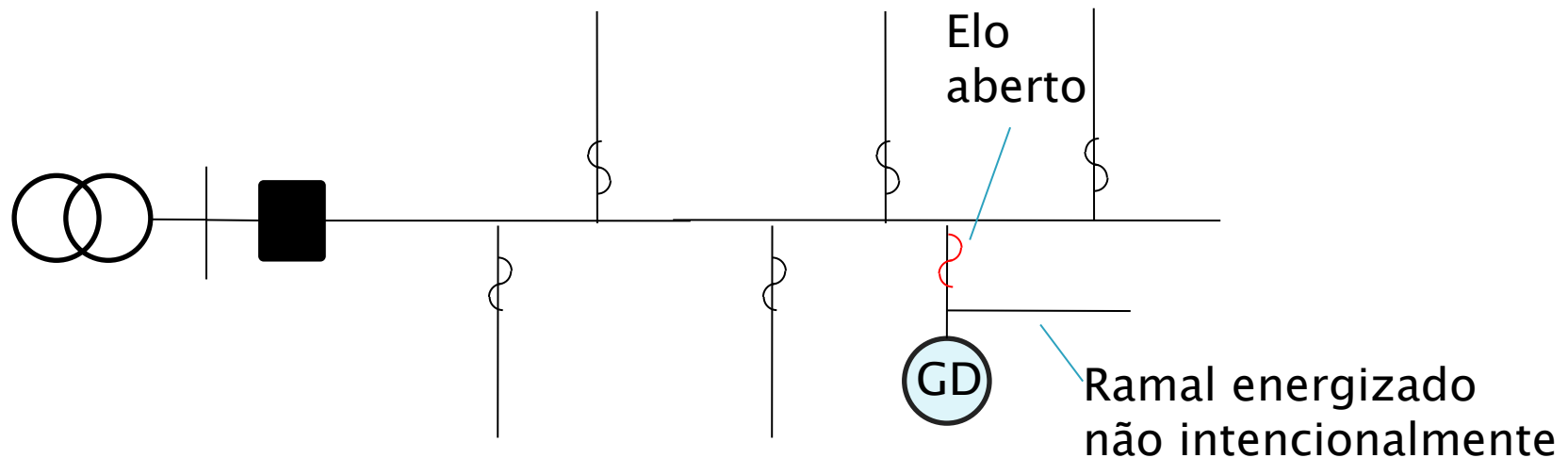
- Ilhamento intencional:
 - Poderia ser usado para aumento de confiabilidade
 - Deve-se garantir o sincronismo



Aspectos Técnicos

Segurança

- Ilhamento não intencional
 - Não deve ocorrer em nenhuma hipótese (segurança)



Impacto de GD devido a Religamento

Contexto

- ❑ Aumento no número de religadores e GDs em redes de distribuição
- ❑ Proteção anti-ilhamento tornou-se um importante requisito para GDs
- ❑ Concessionárias exigem que os GDs sejam desconectados da rede de distribuição durante o processo de eliminação da falta
- ❑ Religamento em um sistema com GD em operação tem duas preocupações
 - Danos a GD
 - Impacto no sistema de potência

Impacto de GD devido a Religamento

Problema

- ❑ Proprietário do GD deseja evitar os custos elevados da proteção anti-ilhamento
- ❑ Questão a ser respondida:
 - “O religamento dessincronizado pode criar uma corrente de inrush capaz de danificar os equipamentos da concessionária?”
- ❑ Resposta possível:
 - “A corrente de inrush deveria ser maior que a corrente de falta”

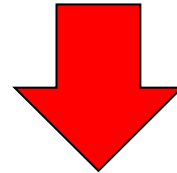
Objetivo

- ❑ Determinar o tamanho máximo do GD que não causaria dano aos equipamentos da concessionária

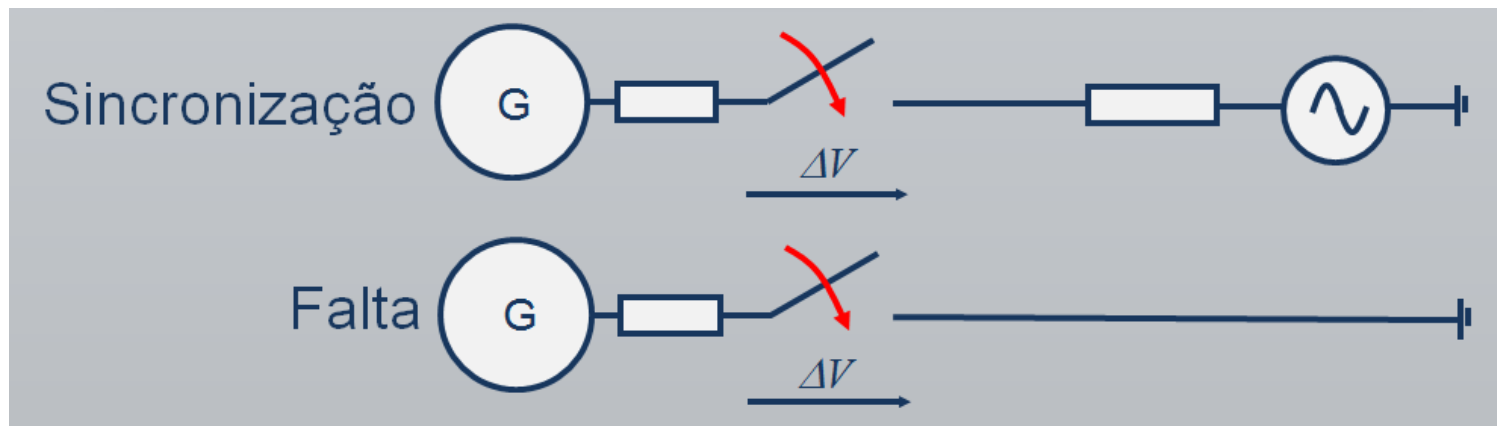
Impacto de GD devido a Religamento

Abordagem

Sem a diferença de frequência entre as partes a serem sincronizadas

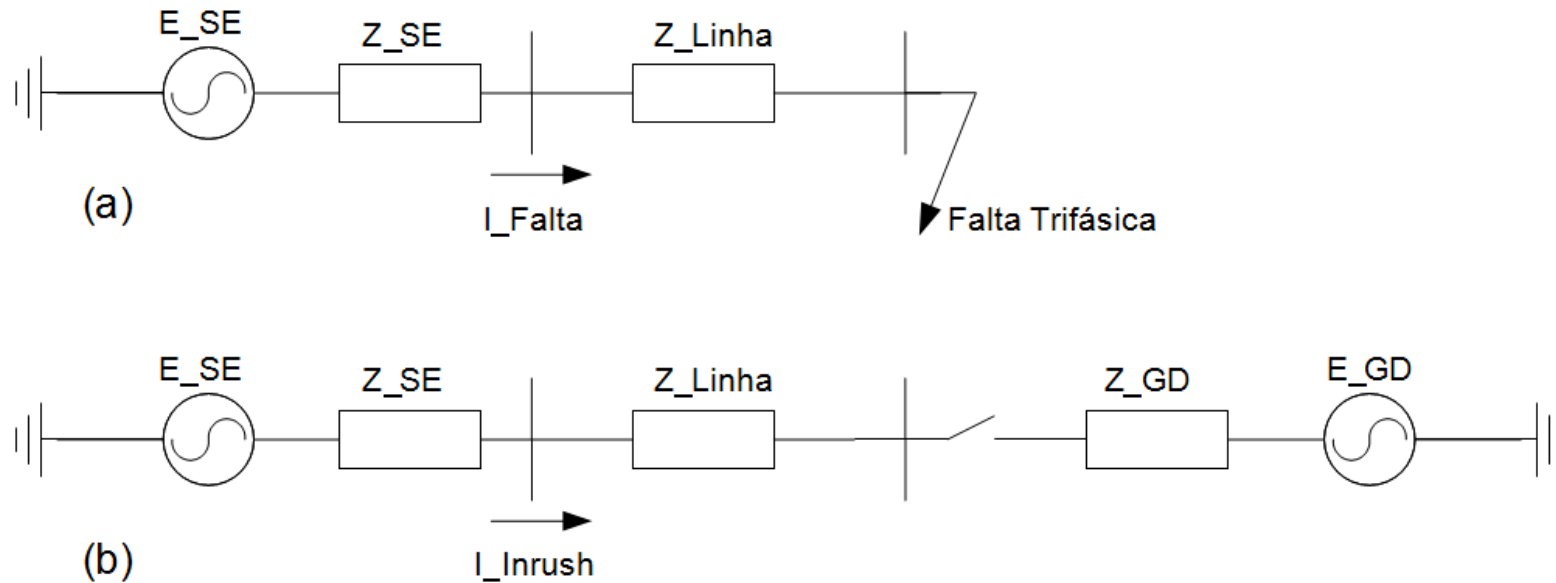


O religamento é essencialmente o mesmo que o curto-circuito



Impacto de GD devido a Religamento

Corrente de Inrush X Corrente de Falta



$$I_{Falta} = \frac{E_{SE}}{Z_{linha} + Z_{SE}}$$

$$I_{Inrush} = \frac{E_{DISJUNTOR}}{Z_{SE} + Z_{linha} + X_{GD}}$$

Impacto de GD devido a Religamento

Corrente de Inrush X Corrente de Falta

- **Principal hipótese:**

180° de defasamento entre E_{SE} e E_{DG}

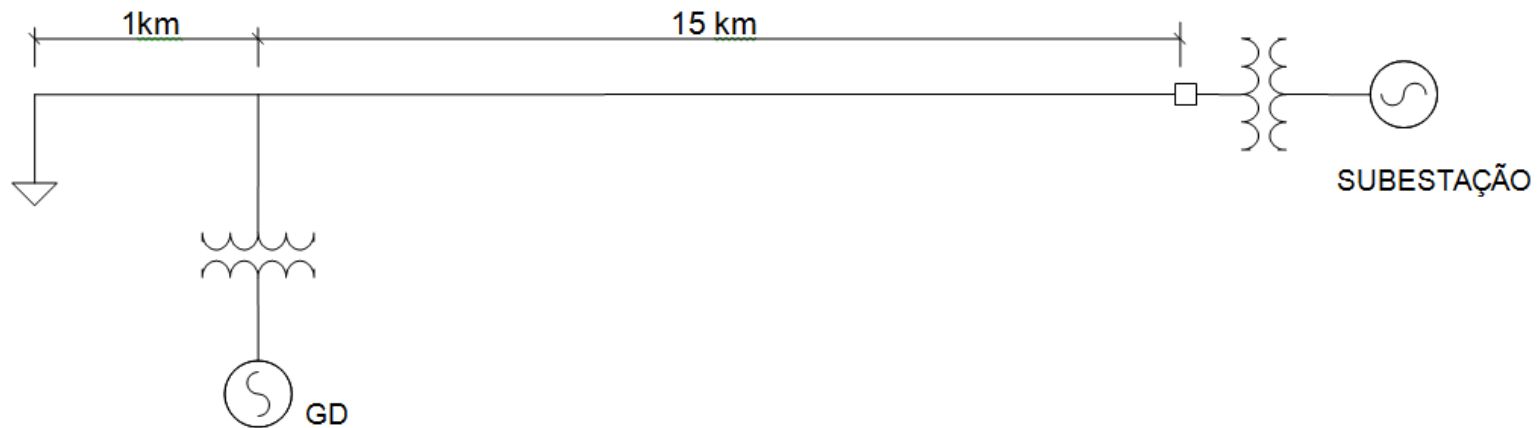
$$E_{DISJUNTOR} = |E_{SE}| + |E_{GD}|$$

- **Máximo tamanho do GD:**

$$I_{Inrush} \leq I_{Falta}$$

Impacto de GD devido a Religamento

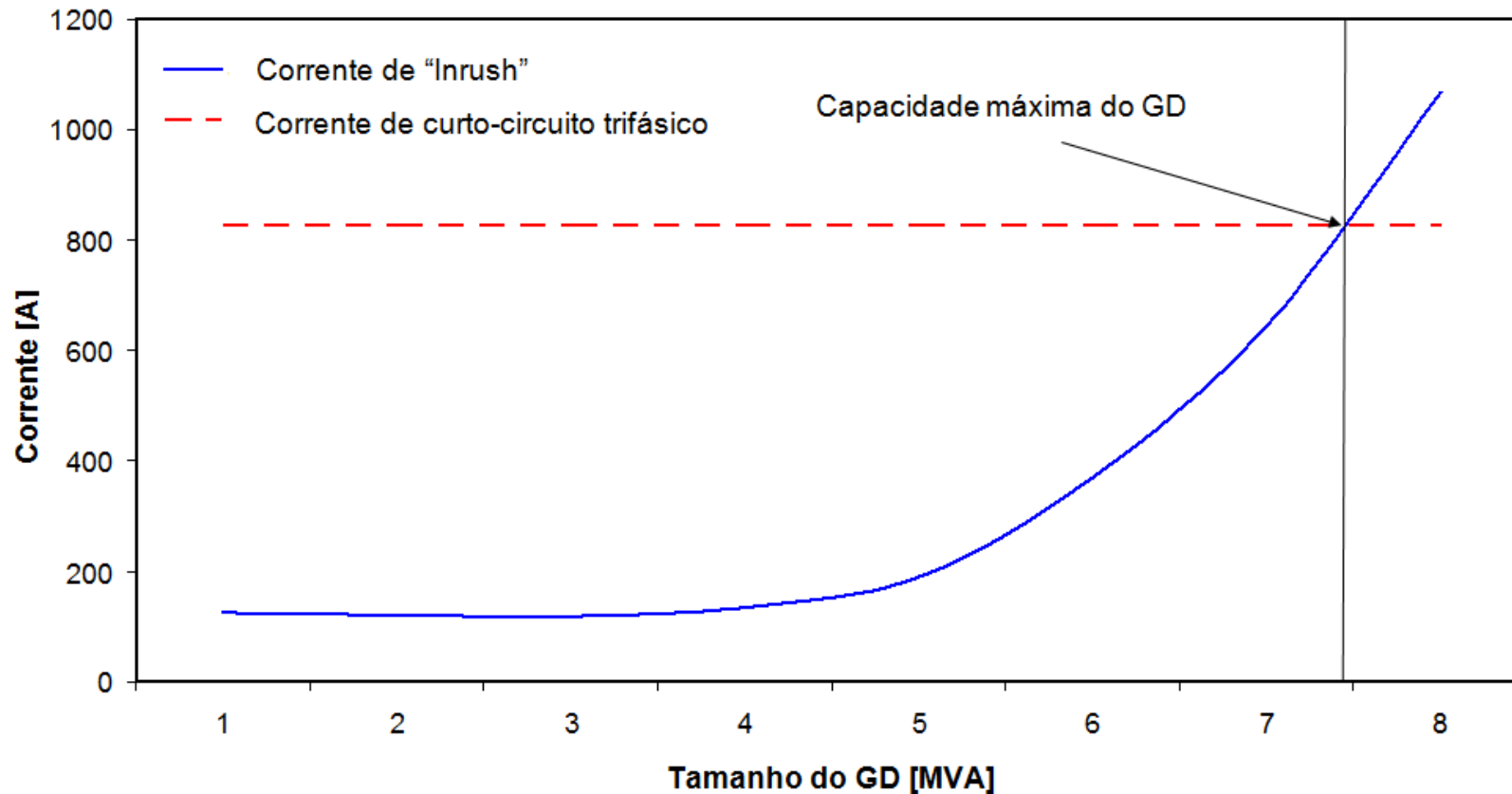
Estudo de Caso



- **Simulações realizadas no PSCAD (Manitoba Hydro)**
- **Concessionária:** 25kV, impedância $6,25+j14,4$ ohms
- **Alimentador:** 4 fios, rede aérea, 336.4 ACSR, GMR de 0,00779m, Resistência CC de 0,1901 ohm/km
- **Transformador da GD:** 25kV/480V, Y_g/Δ , 6 MVA, impedância 6%
- **GD:** 480V, 5 MVA, impedância 25%
- **Carga:** 6,25MVA, fator de potência de 1,0

Impacto de GD devido a Religamento

Estudo de Caso



Máximo tamanho do GD: 7,4 MVA

Impacto de GD devido a Religamento

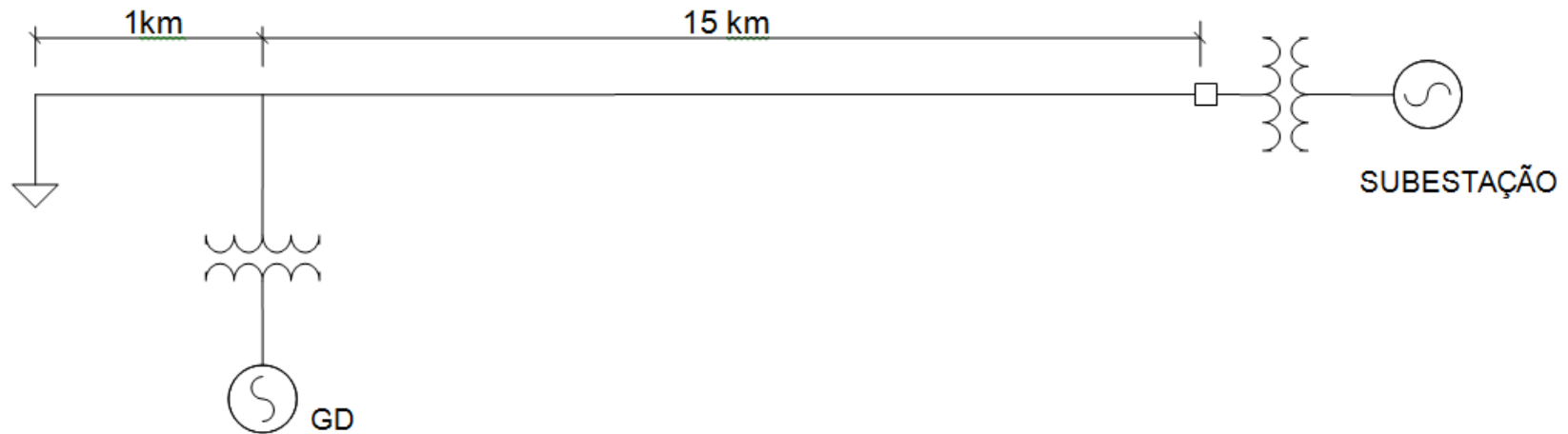
Estudo Analítico

*Definição de regra clara e simplificada para
estimar máximo tamanho do GD*

- **Hipóteses:**
 - GD operando em condições normais
 - Impedância da carga é desconsiderada (alto valor)

Impacto de GD devido a Religamento

Estudo Analítico

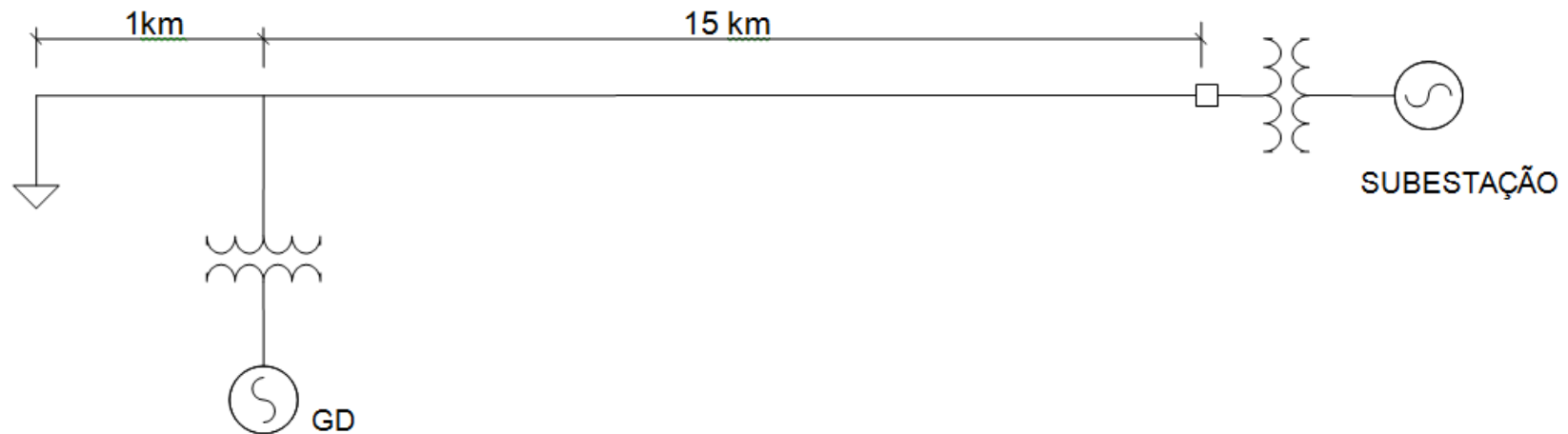


$$I_{Falta} = \frac{MVA_{Falta}}{E_{SE}} = MVA_{Falta}$$

$$I_{Inrush} = \frac{|E_{SE}| + |E_{GD}|}{Z_{Thevenin} + Z_{GD}}$$

Impacto de GD devido a Religamento

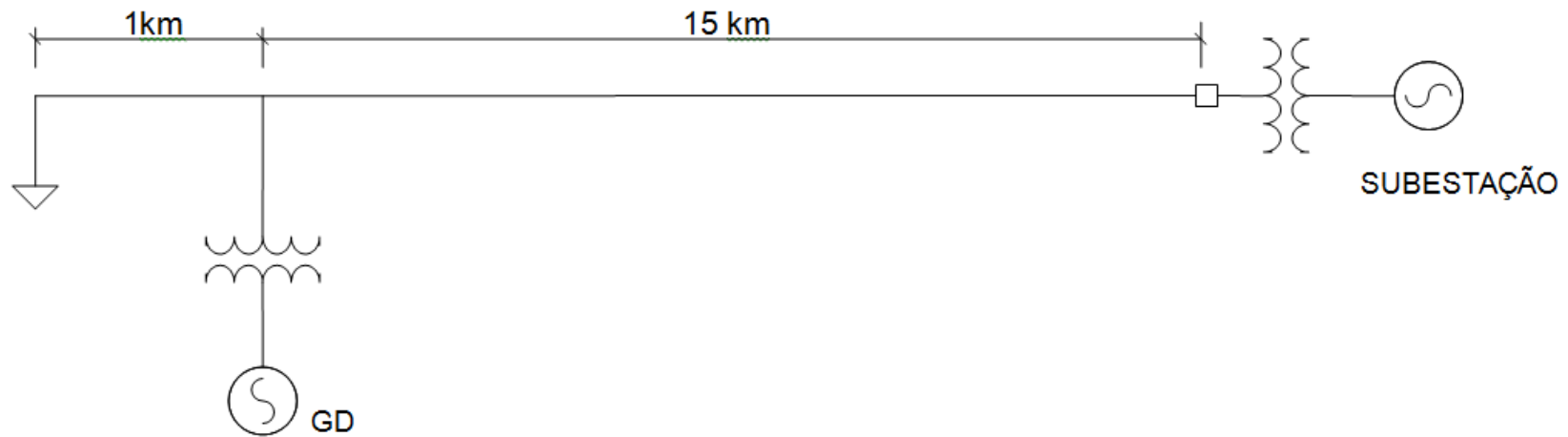
Estudo Analítico



$$Z_{Thevenin} = \frac{|E_{SE}|^2}{MVA_{Falta}} = \frac{1}{MVA_{Falta}}$$

Impacto de GD devido a Religamento

Estudo Analítico

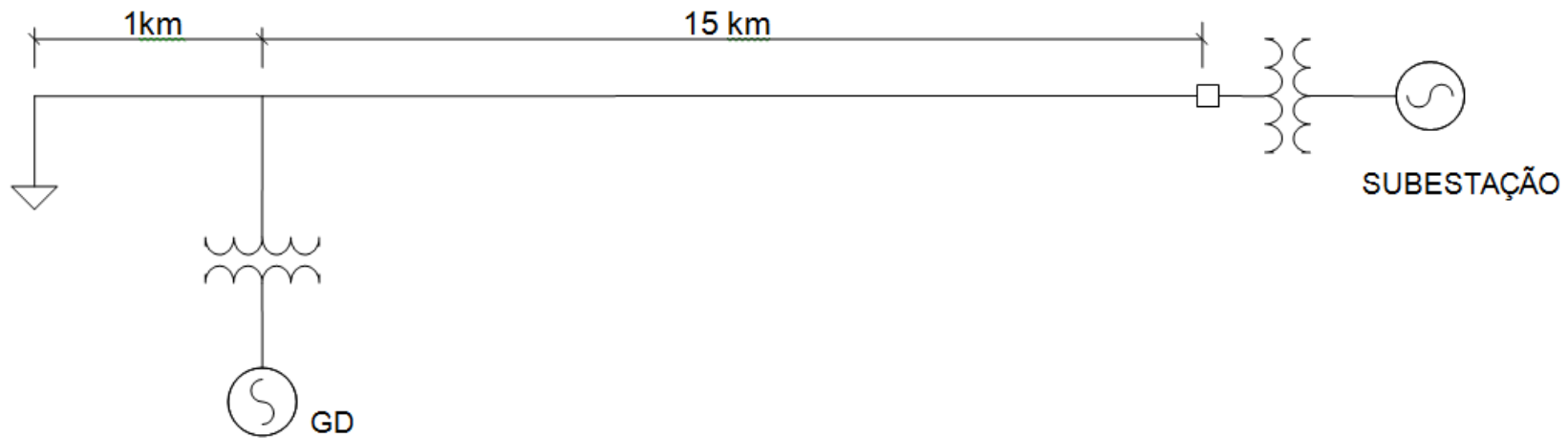


$$E_{GD} = V_{Carga} + Z_{GD} \times I_{GD}^{Nominal}$$

$$E_{GD} = 1 + Z_{GD} \times MVA_{GD}$$

Impacto de GD devido a Religamento

Estudo Analítico

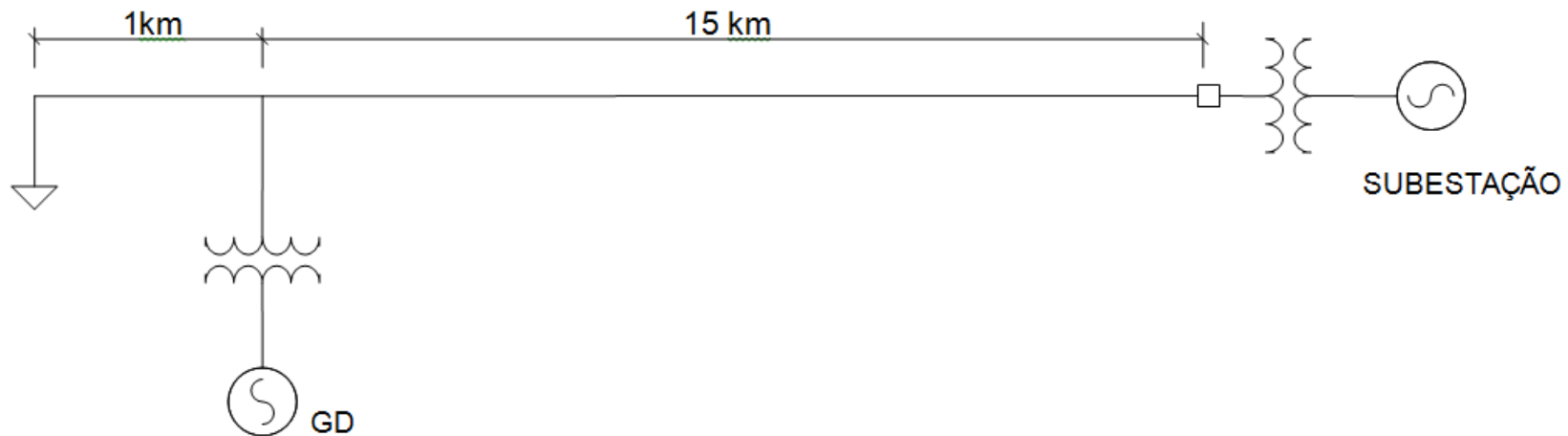


$$Z_{GD} = Z_{Transformer} + Z_{Generator}$$

$$Z_{GD} = \frac{5\%}{MVA_{Tr}} + \frac{25\%}{MVA_{DG}}$$

Impacto de GD devido a Religamento

Estudo Analítico

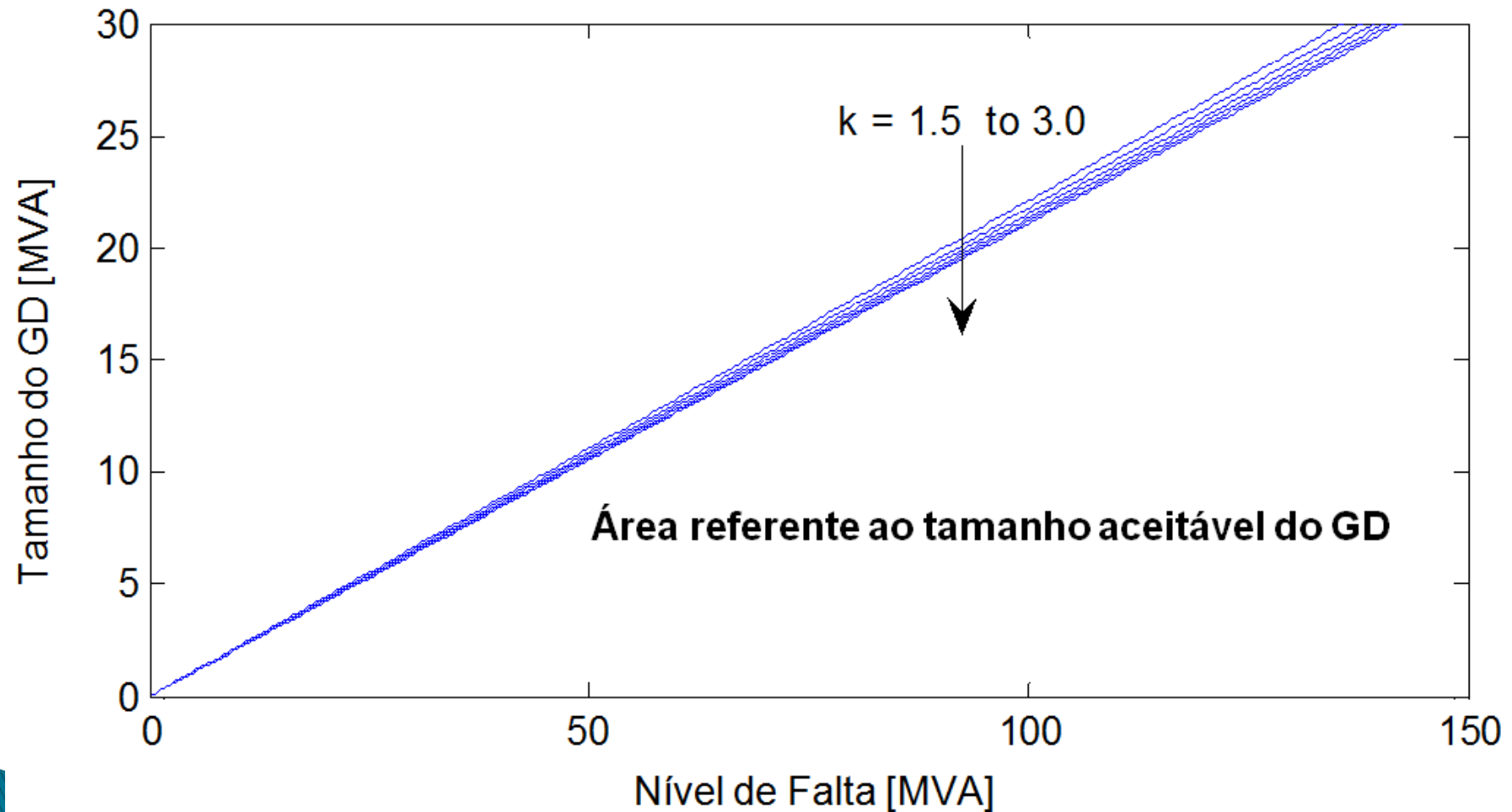


$$Z_{GD} = \frac{5\%}{MVA_{DG}} \times [1/k + 5]$$

$$MVA_{GD} \leq MVA_{Falta} \times \left[\frac{1 + 5k}{1 + 25k} \right]$$

Impacto de GD devido a Religamento

Estudo Analítico



Comentários Finais

Impacto da GD na Sociedade e Concessionárias

- ❑ A utilização de GD pode oferecer benefícios significativos à sociedade:
 - fontes renováveis
 - localização próxima da carga
 - possível melhoria de confiabilidade

- ❑ A mudança de paradigma das redes com GD obriga as concessionárias a se prepararem para o projeto, planejamento e operação de redes não radiais

Comentários Finais

Impacto da GD na Sociedade e Concessionárias

- ❑ As conexões de microGD são um tendência
 - Fotovoltaicas
 - Micro-eólicas
 - V2G (vehicule to grid – no Brasil ainda não)

- ❑ Fontes renováveis de GD podem oferecer benefícios à sociedade e continuarão a ser incentivadas

- ❑ As dificuldades para as distribuidoras tendem a ser maiores em GD de maior porte do que nas micro GD

Comentários Finais

Impacto da GD na Sociedade e Concessionárias

- ❑ As redes com GD também são uma oportunidade de benefícios para as concessionárias desde que:
 - haja confiabilidade na geração
(fim do “Planejar sem GD, mas operar com GD”)
 - o despacho seja otimizado
 - associem-se tecnologias de armazenagem
 - sejam instrumento para redução de perdas comerciais

- ❑ Os entraves e distúrbios associados às GD devem ser previstos e constar do acordo operativo:
 - Despacho normal
 - Despacho em contingências
 - Penalidades por falta de confiabilidade