



CENTRO UNIVERSITÁRIO  
CIÊNCIAS AGRÁRIAS, BIOLÓGICAS E ENGENHARIAS  
Curso de Engenharia Elétrica

Ilhamento de Geradores Distribuídos

*Prof. Dr. Rogério Lima*

7 de novembro de 2019, Cbá - MT

# Apresentação

## 1 Introdução

- Microrredes

## 2 Ilhamento de Geradores Distribuídos

- Métodos de Detecção de Ilhamento
  - Técnicas Locais
  - Técnicas Remotas
- Operação Isolada de Geradores Distribuídos
  - Ilhamento Não Intencional de Geradores Distribuídos
  - Ilhamento Intencional de Geradores Distribuídos
  - Dinâmica e Controle do Ilhamento Intencional

## 3 Referências Bibliográficas

# Introdução

## Expansão da Geração Distribuída(GD)

Motivadores para a GD:

- Escassez das fontes não renováveis;
- Meta 20-20-20 (+eficiência/-emissão/+fontes renováveis); e
- Economia dos custos e perdas de transmissão.

"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.

**Resultado: Integração de Geradores Distribuídos (Gds).**

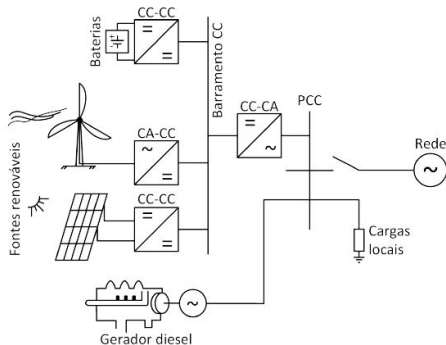
# Introdução



# Microrredes

Solução confiável à integração de Gds.

## Definição



- Modos de operação: conectado e isolado;
- Controle de  $f$ ,  $V$ ,  $P$  e  $Q$  - controlador principal;
- Máquinas síncronas, conversores e SAE.

# Ilhamento de Geradores Distribuídos

## Desafios:

- Impactos nos modos de controle;
- Filosofia de proteção; e
- Qualidade da Energia Elétrica.

## Oportunidade:

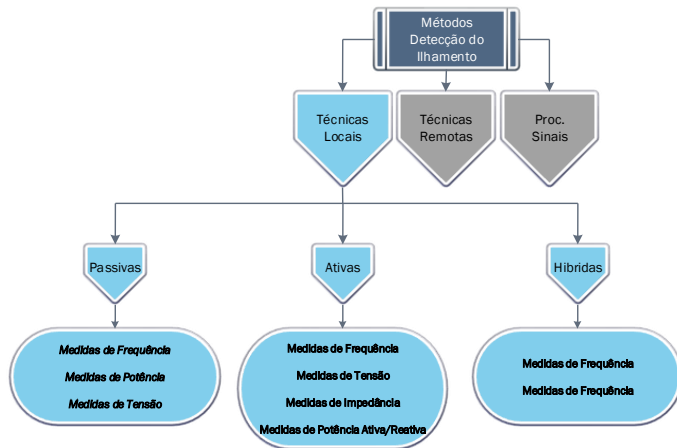
- Melhoria na Confiabilidade:
  - ▶ Mitigar o efeito dos apagões;
  - ▶ Auxílio na restauração da rede elétrica.

## Novos procedimentos:

- IEEE, Comité 21, Std 1547 (2018);
- BCHydro, HidroOne, Hidro Quebec, Energisa etc...

Infraestrutura e os procedimentos necessários à viabilização.

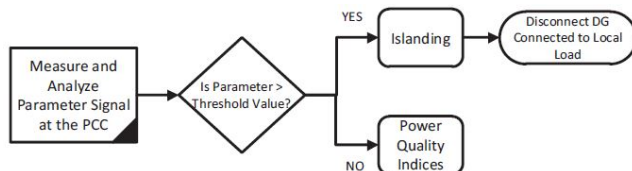
# Métodos de Detecção de Ilhamento



- Remotos: concessionária - dispositivo - Gds;
- Locais: medidas de parâmetros ou variáveis da rede.

# Métodos de Detecção de Ilhamento

## Técnicas Passivas



- Rápida atuação;
- Custo-benefício;
- Qualidade da Energia Elétrica;
- **Zona de Não Detecção do Ilhamento (ZND).**



# Métodos de Detecção de Ilhamento

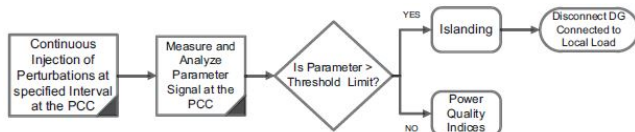
## Técnicas Passivas

Method	Detection time	Error detection rate	Impact on power quality	NDZ
ROCOP	24–26 ms	High	No	Small
ROCOF	24 ms	High	No	Small
ROCOFOP	100 ms	Low	No	Smaller than ROCOF
Change of impedance	10 ms	Low	No	Small
Voltage unbalance	53 ms	Low	No	Large
O/U voltage and frequency	4 ms to 2 s	Low	No	Large
Harmonic distortion	45 ms	High	No	Large for high Q
Phase jump	10–20 ms	Low	No	Large

Características das diferentes técnicas passivas.

# Métodos de Detecção de Ilhamento

## Técnicas Ativas



- Usadas em Gds conectados por inversores;
- Reduz a ZND;
- Exige controlador adicional - complexidade;
- Injeta distúrbio - diminui a QEE;

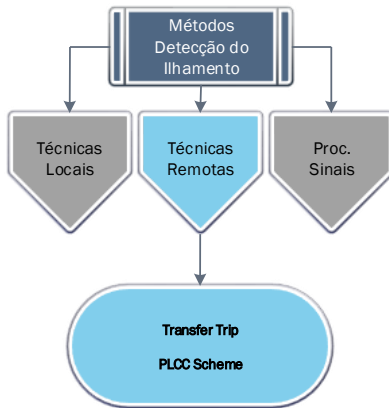
# Métodos de Detecção de Ilhamento

## Técnicas Ativas

Techniques	Detection time	Error detection rate	Impact on power quality	NDZ
RPEED	2 s	Low	Degrades	Small
Impedance measurement	0.77–0.95 s	Low	Degrades	Small
SMS	0.4 s (approx)	Low	Degrades	Small
AFD	With 2 s	High	Degrades	Large if value of Q is high
FJ	75 ms	Low	Degrades	Small
AFDPF	1 s (approx)	Lower than AFD	Slightly degrades	Smaller than AFD
SFS	0.5 s	Low	Slightly degrades	Smallest
SVS	0.5 s	Low	Slightly degrades	Smallest
Variation of active and reactive power	0.3–0.75 s	High	Degrades	Small
Negative sequence current injection	60 ms	Low	Degrades	None
High frequency signal injection	Few ms	Low	Slightly degrades	Smallest
Virtual capacitor	20–51 ms	Low	Slightly degrades	Smallest
Virtual inductor	13–59 ms	Low	Slightly degrades	Smallest
Phase PLL perturbation	120 ms	Low	Negligible	Smallest

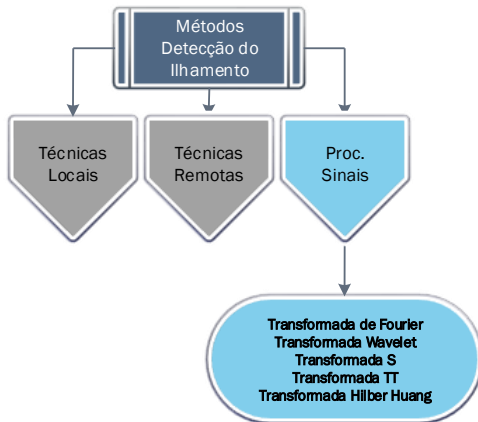
Características das diferentes técnicas passivas.

# Métodos de Detecção de Ilhamento



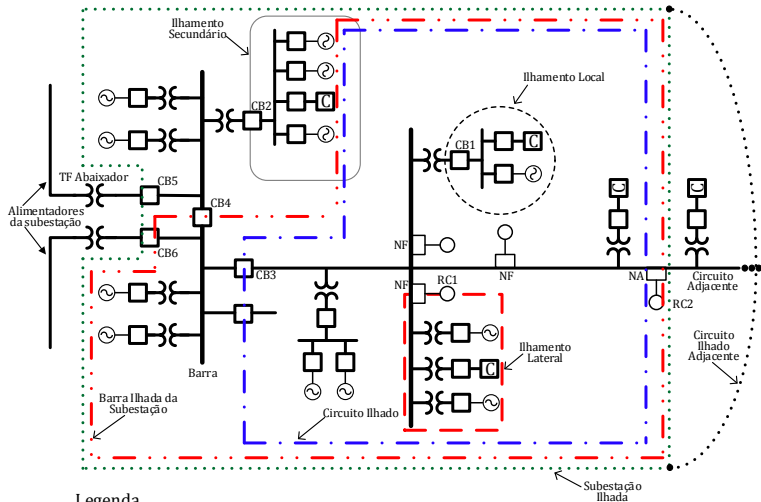
- SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition*;
- PLCC - *Power Line Carrier Communication*;
- ZND nula, bom tempo de resposta, boa eficiência com múltiplos Gd.

# Métodos de Detecção de Ilhamento



- Usada para provê performance às técnicas passivas;
- Versatilidade, estabilidade, custo-benefício.

# Operação Isolada de Geradores Distribuídos



## Legenda

- |  |                     |  |                                    |
|--|---------------------|--|------------------------------------|
|  | Gerador Distribuído |  | Disjuntor NF - Normalmente Fechado |
|  | Religador           |  | Carga                              |
|  |                     |  | NA - Normalmente Aberto            |

# Ilhamento Não Intencional de Geradores Distribuídos

Devido á falha na detecção do ilhamento.

**Consequências** da não detecção do ilhamento:

- Segurança da equipe (usuário) de manutenção da concessionária;
- QEE fora de controle da concessionária;
- Sistema de proteção pode operar insatisfatoriamente;
- Aterramento inadequado;
- Durante reenergização, Gd fora de sincronismo.

**Procedimento atual:**

- Tempo de detecção e posterior desconexão: 500 ms;
- Detecção e desconexão: 2 seg., recomendação (Std IEEE 1547); e
- Acordo mútuo: 5 seg. (Std IEEE 1547/2008);
- Métodos + utilizados: passivos - medidas de frequência e tensão.

**Zona de não detecção do ilhamento.**

# Ilhamento Intencional de Geradores Distribuídos

Em condições emergenciais, Gds e redes são isoladas intencionalmente.

Sistema de ilhamento Intencional da Geração Distribuída, análises:

- Mudanças na magnitude e direção do fluxo de potência;
- Controle adequado da frequência, tensão e QEE;
- Requisitos dos tipos de cargas presentes na ilha;
- Condições em regime permanente e transitório; e
- Reservas marginais, corte de carga, resposta da demanda.

Planejamento do Ilhamento Intencional:

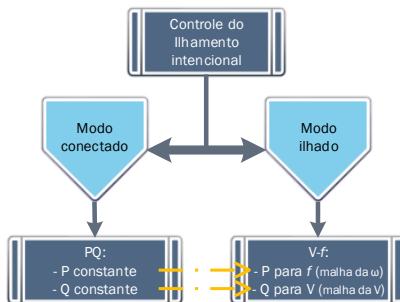
- Especificações dos requisitos operativos das cargas;
- Características da GD, fonte primária, capacidade de restauração;
- Parâmetros da rede: aterramento,  $I_{CC}$ , regulação de tensão, proteção, automação;
- Perfis de tensão, frequência e QEE;



# Dinâmica e Controle do Ilhamento Intencional

Estratégia de controle: modo conectado e modo ilhado.

- Modo conectado: controle PQ;
  - Potência e Reativa constantes.
- Modo ilhado: controle V-f







- Múltiplos Gds: múltiplos controle;
- Controles: isócrono e estatismo (*Droop*).



Prof. Rogério Lima.  
rogerio.lima@univag.edu.br  
Obrigado!!!

# Referências Bibliográficas

-  LIMA, R. L. Metodologias para Determinar a Viabilidade Técnica do Ilhamento Intencional de Geradores Distribuídos em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, 2018.
-  FARROKHABADI, M.; CAÑIZARES, C. A.; BHATTACHARYA, K. Frequency control in isolated/ islanded microgrids through voltage regulation. IEEE Transactions on Smart Grid, v. 8, n. 3, p. 1185–1194, May 2017. ISSN 1949-3053.
-  TRINDADE, F. C. L. Análise dos sistemas de proteção e controle de instalações industriais com geradores síncronos durante operação ilhada. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, 2009. Estadual de Campinas, 2009.
-  IEEE Std 1547. Ieee standard for interconnection and interoperability of distributed energy resources with associated electric power systems interfaces. IEEE Std 1547-2018 (Revision of IEEE Std 1547-2003), p. 1–138, April 2018.