



# Análise da Contribuição para o Curto Circuito de Geradores Solares em um Sistema de Distribuição Urbano

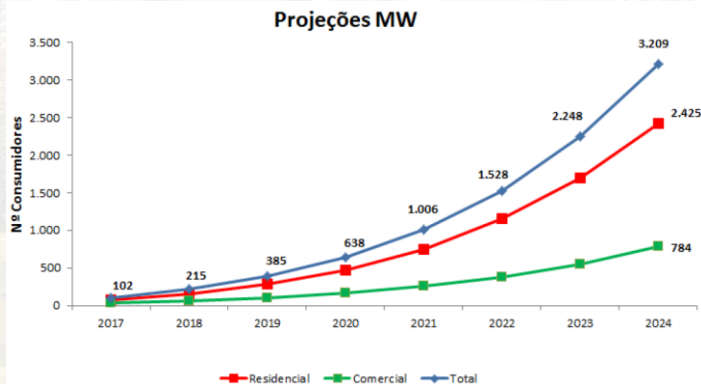
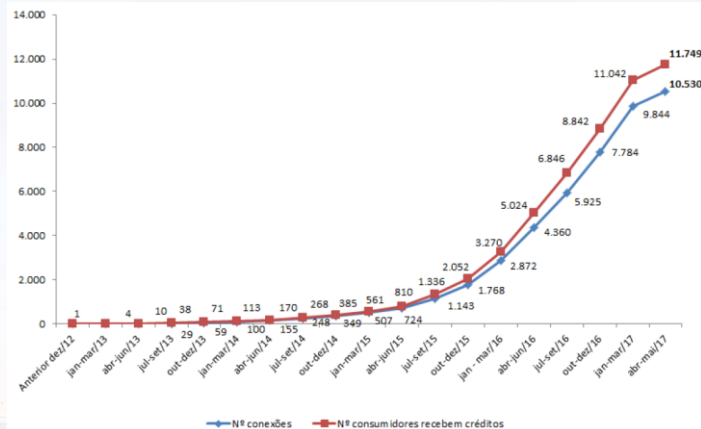
GAT / Sergio Pazzini da Silva Matos

Até o fim de 2016, o setor de **energia solar no Brasil** possuía 7.784 sistemas fotovoltaicos instalados.

Statoil estreia em energia solar no Brasil em projeto de US\$ 215 milhões. [Out-17]

MRV investe R\$ 800 milhões na construção de condomínios com painéis solares. [Out-17]

O aumento da geração solar é significativo e sua influência no sistema elétrico não é mais desprezível

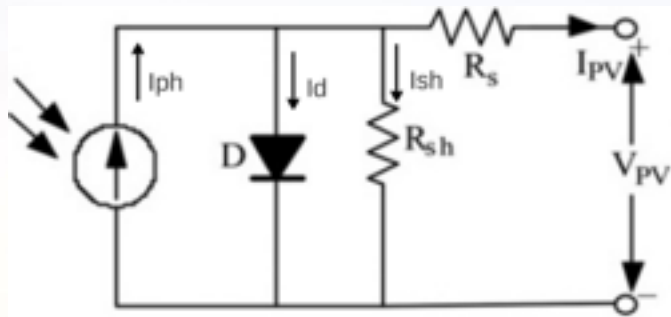


## OBJETIVO DO ESTUDO

Os sistemas de distribuição e transmissão de energia atuais foram projetados com uma característica de fluxo de potência fluindo da fonte para as cargas em todos os momentos. A partir da disseminação e utilização em maior escala de geradores distribuídos, surgem questionamentos quanto à operação dos sistemas de proteção atuais. Este artigo tem como objetivo analisar a contribuição para o curto circuito de um gerador solar conectado à uma rede elétrica urbana, para subsidiar uma análise da atuação das proteções atualmente instaladas, que não consideram a instalação de novos geradores próximos aos consumidores.



# MODELAMENTO DO GERADOR SOLAR



$I_{pv}$  é a corrente de saída do módulo solar [A];  
 $I_{ph}$  é a corrente gerada pela luz [A];  
 $I_0$  é a corrente de saturação do diodo [A];  
 $V_t$  é a tensão térmica do diodo;  
 $R_s$  é a resistência em série;  
 $R_{sh}$  é a resistência em paralelo;  
 $V_{pv}$  é a tensão na carga [V];

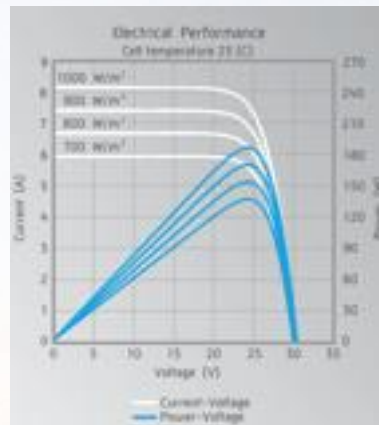
$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V_{pv} + I R_s}{V_t}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I R_s}{R_{sh}}$$

$$I_{sc} \approx 115\% I_{pv}$$

# MODELAMENTO DO GERADOR SOLAR

Software utilizado para estudos:  
Power Tools for Windows (PTW)

Módulo solar utilizado:  
Mitsubishi PV-UD185MF5  
 $P_{max}=185W$   
 $I_{pv}=7,58A$   
 $I_{sc}=8,13A$  (107,3% de  $I_{pv}$ )



Component Subviews:

Solar PV Generator  
PV Config and Module Lib  
PV Contribution  
Harmonic Source  
Reliability Data  
Optimal Power Flow  
User-Defined Fields  
Database

Name: PV - 100kVA - 1 ☐ In Service

Rated Voltage: 440 V (L-L) Data State: Complete

Rated Size: 100.432 kW Library...

Power Factor: 1.000 Unity

Full Load Amps: 131.8 ☒ Link with SPV Config/Library

Initial Operating Conditions

kW: 100.432 kVar: 0.000

Bus Connection ☒ Three Phase ☐ Wye-Ground

Bus: Connection... BUS-0189

Component Subviews:

Solar PV Generator  
PV Config and Module Lib  
PV Contribution  
Harmonic Source  
Reliability Data  
Optimal Power Flow  
User-Defined Fields  
Database

Scenario Manager...

Go To Jump...

Library... ☒ Link to Lib

# of Modules: 27 Vertical: 25 Horizontal: 25

Manufacturer: MITSUBISHI ELECTRA Model: PV-UD185MF5

Inverter Mode: Unity PF Inverter Efficiency %: 90

Module Data at 1000.00W/m<sup>2</sup>, 25deg C Ambient Temperature:

V Nominal: 24.40 Volts

I Nominal: 7.58 Amps

Pmax: 185.00 Watts

Voc: 30.60 Volts

Isc: 8.13 Amps

Insatance W/m<sup>2</sup>: 1000.00

Power Tolerance Low %: 3.00

Dust Factor %: 95.00

Loss on DC Side %: 0.00

Modules Covered by Shadow

☐ Model Shadow Number of Modules in Shadow: 0.00

Component Subviews:

Solar PV Generator  
PV Config and Module Lib  
PV Contribution  
Harmonic Source  
Reliability Data  
Optimal Power Flow  
User-Defined Fields  
Database

Scenario Manager...

Go To Jump...

Short Circuit Information

Three Phase: 107.3 % Full Load Amps

Short Circuit X/R: 10.000

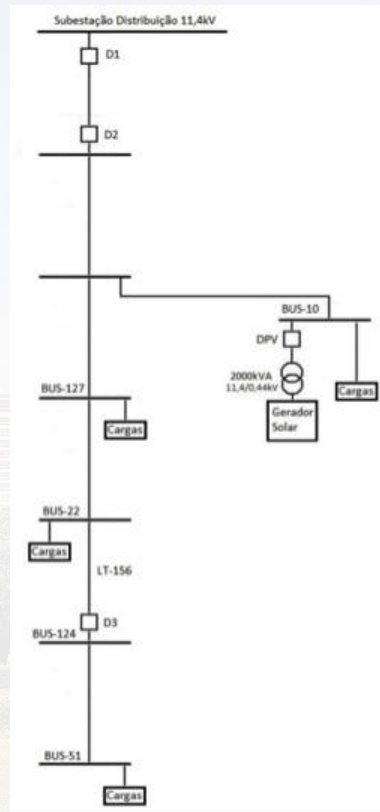




# SIMULAÇÕES



Aumento de 0,1% no Cenário 2  
Aumento de 0,9% no Cenário 3

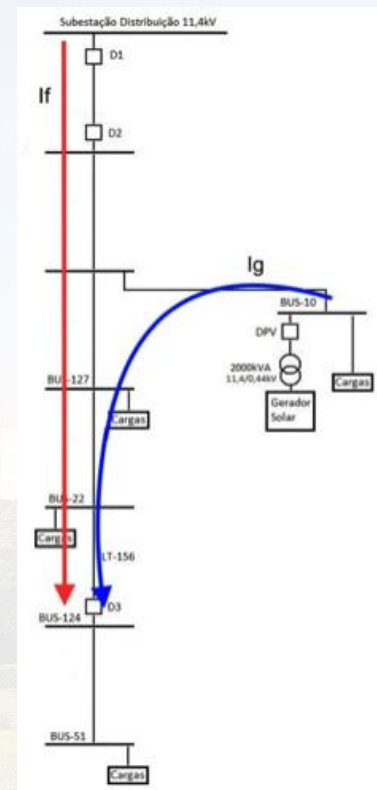


Cenário 4: Cenário com o gerador solar desligado, e um curto-circuito apenas na barra BUS-124.

Cenário 5: Cenário com apenas um gerador solar de 100kVA ligado na Barra BUS-10, e um curto-circuito apenas na barra BUS-124.

Cenário 6: Cenário com apenas um gerador solar de 1000kVA ligado na Barra BUS-10, e um curto-circuito apenas na barra BUS-124.

Fonte	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6
Barra infinita ( $I_f$ )	5343	5340	5320
Gerador solar ( $I_g$ )	0	6,2	51





## ANÁLISE DAS PROTEÇÕES

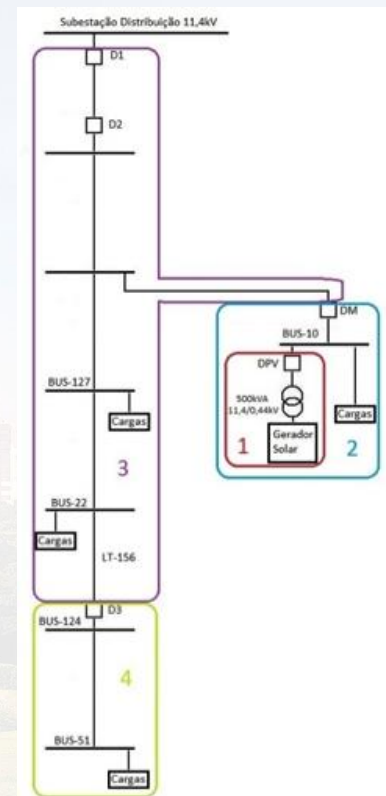
Quando a conexão da GD é estruturada em uma microrrede, a estabilidade e a segurança do sistema podem ser melhoradas. Deste modo, pode-se pensar na Proteção do Sistema da Microrrede. Algumas características de uma microrrede que são importantes para a definição de uma filosofia de proteção para o sistema:

1. Fluxo de potência bidirecional;
2. Diminuição da corrente de curto-circuito na operação em ilha;
3. Alteração da impedância equivalente em função do número e tipo de unidades de GD;

# ANÁLISE DAS PROTEÇÕES

## Filosofia de Proteção

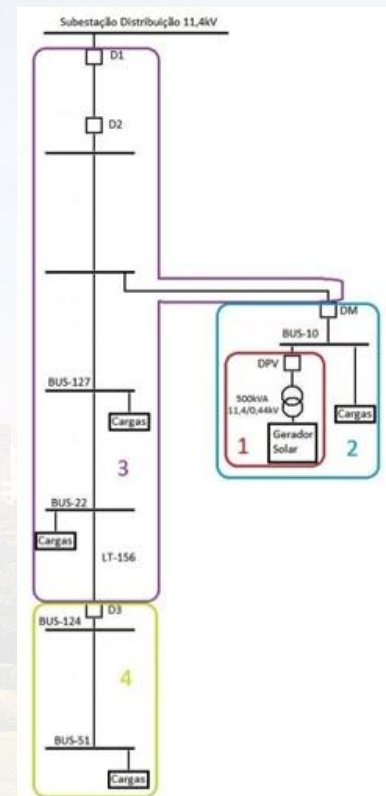
- **Seletividade:** Um sistema de proteção deve desconectar somente a parte do sistema elétrico com defeito, de modo a minimizar as consequências deste defeito.
- **Redundância:** Funcionalidades redundantes de um sistema de proteção são referidas também como proteção de backup, e combinam diferentes princípios, por exemplo proteção diferencial (principal) e distancia (backup) para linhas de transmissão.
- **Segurança:** É a habilidade de rejeitar qualquer evento do sistema elétrico ou transitórios de modo que partes não defeituosas do sistema elétrico não sejam desconectadas desnecessariamente.
- **Confiabilidade:** É a habilidade de detectar e eliminar todos os



## Filosofia de Proteção

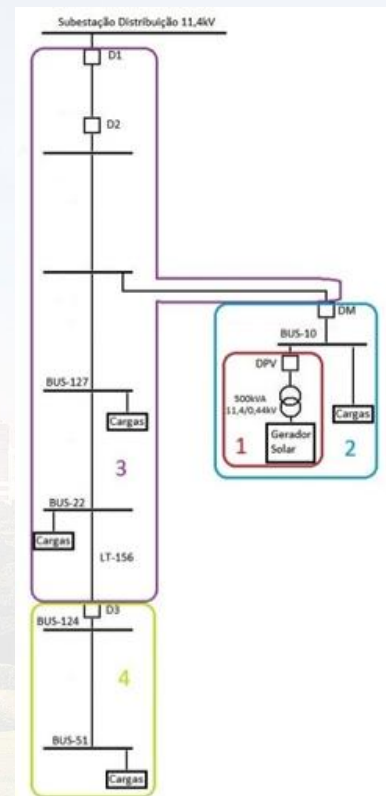
Divisão por Regiões de Proteção, delimitadas por disjuntores

- **Região 1:** Proteção do Conjunto Gerador+Transformador
  - Instalação do disjuntor DPV
- **Região 2:** Proteção da Microrrede
  - Instalação do disjuntor DM
- **Região 3:** Proteção da Rede de Distribuição
  - Delimitada entre os disjuntores D1, DM e D3
- **Região 4:** Proteção da Rede de Distribuição
  - Delimitada após o disjuntor D3



# ANÁLISE DAS PROTEÇÕES

	Gerador Solar 100kVA		Gerador Solar 1000kVA		
	Função de Prot.	Pickup	Função de Prot.	Pickup	
DPV	Sobrec. direc (67DPV)	5,4A Reg1 para Reg2	Sobrec. direc (67DPV)	52A	Desbloq. 27.1 DPV
	Subtensão 1 (27.1DPV)	50%	Subtensão 1 (27.1DPV)	50%	-
	Subtensão 2 (27.2DPV)	50% , 200ms	Subtensão 2 (27.2DPV)	50% , 200ms	-
DM	Sobrec. direc (67.1DM)	4,7A Reg2 para Reg3	Sobrec. direc (67.1DM)	45A Reg2 para Reg3	Bloqueia DPV Desbloq. 27.1DM
	Sobrec. direc (67.2DM)	1000A Reg3 para Reg2	Sobrec. direc (67.2DM)	1000A Reg3 para Reg2	Bloqueia D1, Desbloq. 27.1DM
	Subtensão 1 (27.1DM)	50%	Subtensão 1 (27.1DM)	50%	-
	Subtensão 2 (27.2DM)	50% , 500ms	Subtensão 2 (27.2DM)	50% , 500ms	-
D1	Sobrecorrente (50D1)	5410A	Sobrecorrente (50D1)	5410A	-
D3	Sobrecorrente (50D3)	4358	Sobrecorrente (50D3)	4358	Bloqueia D1





## CONCLUSÃO

- Sistema Elétrico atual é antigo e baseado em fluxo de potência radial;
- A proteção é afetada com a entrada da Geração Solar;
- Novos estudos mais abrangentes devem ser realizados;
- Microrrede evita desligamentos desnecessários da Geração Solar durante defeitos no Sistema Elétrico;
- Relés de Proteção precisarão de trocas de informações entre si;
- É preciso preparar o Sistema Elétrico para uma filosofia de fluxo de potência bidirecional;
- Utilização ampla da proteção direcional;



## CONCLUSÃO

A geração distribuída em pequena escala parece não afetar de maneira significativa os sistemas de proteção atualmente instalados. No entanto, há indícios de que um aumento significativo da conexão de geradores distribuídos na rede pode provocar sérios problemas para a proteção. Pode acontecer uma atuação indevida de proteções que estão em ramos dos geradores distribuídos, e também pode acontecer uma não atuação das proteções das subestações da concessionária.

A análise mais aprofundada do comportamento das proteções de relés, disjuntores e fusíveis é necessária para garantir a correta operação do sistema elétrico quando forem conectados geradores distribuídos.

## Sergio Pazzini da Silva Matos

---



(27) 98873-8642



[sergio.p.matos@ieee.org](mailto:sergio.p.matos@ieee.org)



[sergio.pazzini@arcelormittal.com.br](mailto:sergio.pazzini@arcelormittal.com.br)



[www.ufes.br](http://www.ufes.br)



[www.arcelormittal.com/br/tubarao](http://www.arcelormittal.com/br/tubarao)