

1 Descrição dos Sistemas Testes

Com o objetivo de introduzir estudos dos sistemas de proteção de alimentadores na presença de geração distribuída, são utilizados dois sistemas padrão com características comumente observadas em redes de distribuição aéreas. Tais sistemas, denominados **Urbano** e **Rural**, foram propostos em projeto de P&D [1]-[2] para a então concessionária AMPLA. Os sistemas contêm elementos tipicamente encontrados nas redes de distribuição urbana e rural, tais como alimentadores de diferentes tamanhos, tipo e arranjo de condutores, concentração de carga e existência de reguladores de tensão.

No sistema padrão rural, foca-se na conexão de pequenos produtores independentes de energia (PIE) com geração típica de uma pequena central hidrelétrica (PCH), em um alimentador com baixo carregamento e de longa extensão. Por outro lado, no sistema padrão urbano, foca-se na conexão de um co-gerador com cargas próprias motóricas, em um alimentador densamente carregado de pequenas e médias extensões.

1.1 Sistema Urbano

A Figura 1 mostra o diagrama unifilar do sistema padrão Urbano. Trata-se de uma rede de distribuição de 13,8 kV constituída de quatro alimentadores ligados a uma subestação equipada com transformador abaixador de 20/25 MVA e um banco de capacitores de 4,8 Mvar.

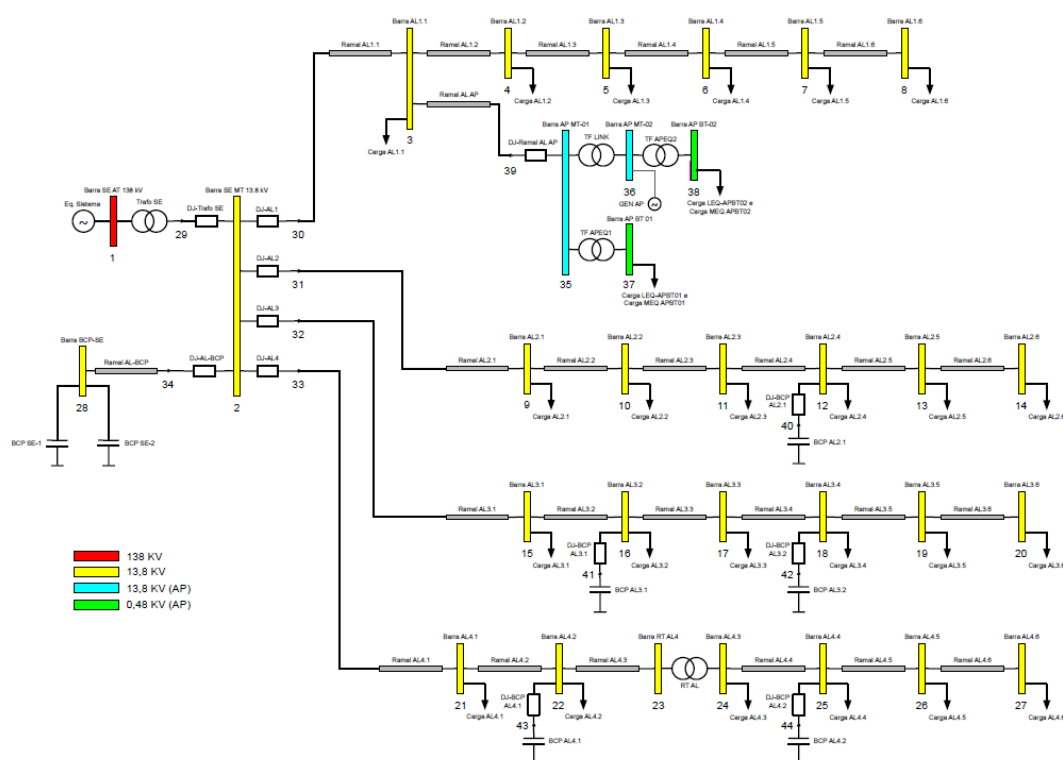


Figura 1. Diagrama unifilar do sistema teste Urbano [cortesia – aluno Fábio Brilhante]

Os alimentadores apresentam comprimentos diferentes, representativos das categorias curto, médio, longo e muito longo e, como suas cargas foram consideradas idênticas, incluem equipamentos de controle de tensão de acordo com cada caso, quais sejam bancos de capacitores e um regulador de tensão.

O sistema elétrico externo, por apresentar potência equivalente bastante superior ao sistema Urbano, é modelado como uma barra infinita. O autoprodutor, equipado com geração total de 5 MVA, consiste de uma

COE888 – Tópicos Especiais sem Sistemas de Distribuição

unidade industrial com suas cargas distribuídas de forma homogênea entre a barra do lado da rede e a barra do lado da geração. As cargas são majoritariamente do tipo motóricas e a geração é modelada por máquinas síncronas do tipo rotor cilíndrico, acionadas por motores de combustão a gás, solução bastante comum nas instalações de co-geração com menor requisito térmico.

Os dados do sistema no formato Simulight podem ser obtidos no arquivo urbano.fdx.

A Tab.1 apresenta a impedância por trecho dos alimentadores. No caso original do sistema Urbano, todos os trechos utilizam o Cabo 4/0 CA.

Tabela 1 Impedância dos alimentadores para o Cabo 4/0 CA

Alimentador	Impedância (%) ¹ / trecho	km/trecho	Extensão (km)
1	7,932 + j10,74	0,5	3,0
2	15,863 + j21,48	1,0	6,0
3	21,151 + j28,64	1,33	8,0
4	31,727 + j42,96	2,0	12,0

¹ Na base do sistema, cujo default é 100 MVA.

Dados do Cabo 4/0 CA:

- Limite térmico de 380A
- Resistência de 0,3021Ω/km e Reatância de 0,4091Ω/km

Nas tabelas a seguir estão descritas as características técnicas, os parâmetros dos componentes e os modelos utilizados para simulação do sistema Urbano.

Tabela 2 Parâmetros do sistema externo equivalente de 138 kV

Vn (kV)	138,0
Sn (MVA)	250,0
X " (p.u.) / X/R	0,10 / 10
X2 (p.u.) / X/R	0,10 / 10
X0 (p.u.) / X/R	0,30 / 10

Nota: Valores em p.u. indicados na base de 250 MVA.

Tabela 3 Características técnicas dos transformadores

Descrição	Trafo-SE	Regulador de Tensão
Sn (MVA)	20,0 / 25,0 ¹	5,23 / 5,23 ¹
Vn primário (kV)	138,0	13,8
Vn secundário (kV)	13,8	13,8
Ligação	delta/estrela	autotrafo
Impedância ² (% / X/R)	8,0 / 22,0	1,5 / 12,8
OLTC	Não	Não
Faixa de ajuste	± 10%	± 10%
Tapes (quantidade / %)	± 16 / 0,625%	± 16 / 0,625%

¹Capacidade nominal/capacidade em emergência.

² Na base da potência nominal e da tensão de 13,8 kV.

Tabela 4 Características técnicas dos bancos de capacitores

Descrição	BCP-SE	BCP-AL2-1	BCP-AL3-1 BCP-AL3-2	BCP-AL4-1 BCP-AL4-2
Qn (kvar)	2 x 2.400	600	1.200	600
Vn (kV)	13,8	13,8	13,8	13,8
Ligação	estrela isolada	estrela isolada	estrela isolada	estrela isolada

Tabela 5 Características técnicas dos alimentadores

Descrição	AL-1	AL-2	AL-3	AL-4
Cabo	4/0 CA	4/0 CA	4/0 CA	4/0 CA
Limite térmico (A)	380	380	380	380
Comprimento total do alimentador (km)	3,0	6,0	8,0	12,0
Parâmetros (Ω /km)				
Rpos.	0,3021	0,3021	0,3021	0,3021
Xpos	0,4091	0,4091	0,4091	0,4091
Rzero	0,4799	0,4799	0,4799	0,4799
Xzero	1,9157	1,9157	1,9157	1,9157

1.2 Sistema Rural

A Figura 2 mostra o diagrama unifilar do sistema padrão Rural. Trata-se de uma rede de distribuição de 13,8 kV constituída de três alimentadores ligados a uma subestação equipada com transformador abaixador de 12,5/15 MVA e um banco de capacitores de 4,8 Mvar.

Os alimentadores apresentam comprimentos diferentes, representativos das categorias médio, longo e muito longo e incluem equipamentos de controle de tensão de acordo com cada caso, quais sejam bancos de capacitores e reguladores de tensão. Suas cargas foram consideradas idênticas e concentradas com 30% a 1/3 do comprimento, 20% a 2/3 do comprimento e 50% no final de cada alimentador.

Da mesma forma do sistema Urbano, o sistema elétrico externo é modelado como uma barra infinita. O produtor independente consiste de uma PCH equipada com geração máxima de 2,5 MW. Assim, sua modelagem é baseada em geradores síncronos do tipo polos salientes acionados por turbina hidráulica.

Os dados do sistema no formato Simulight podem ser obtidos no arquivo rural.fdx.

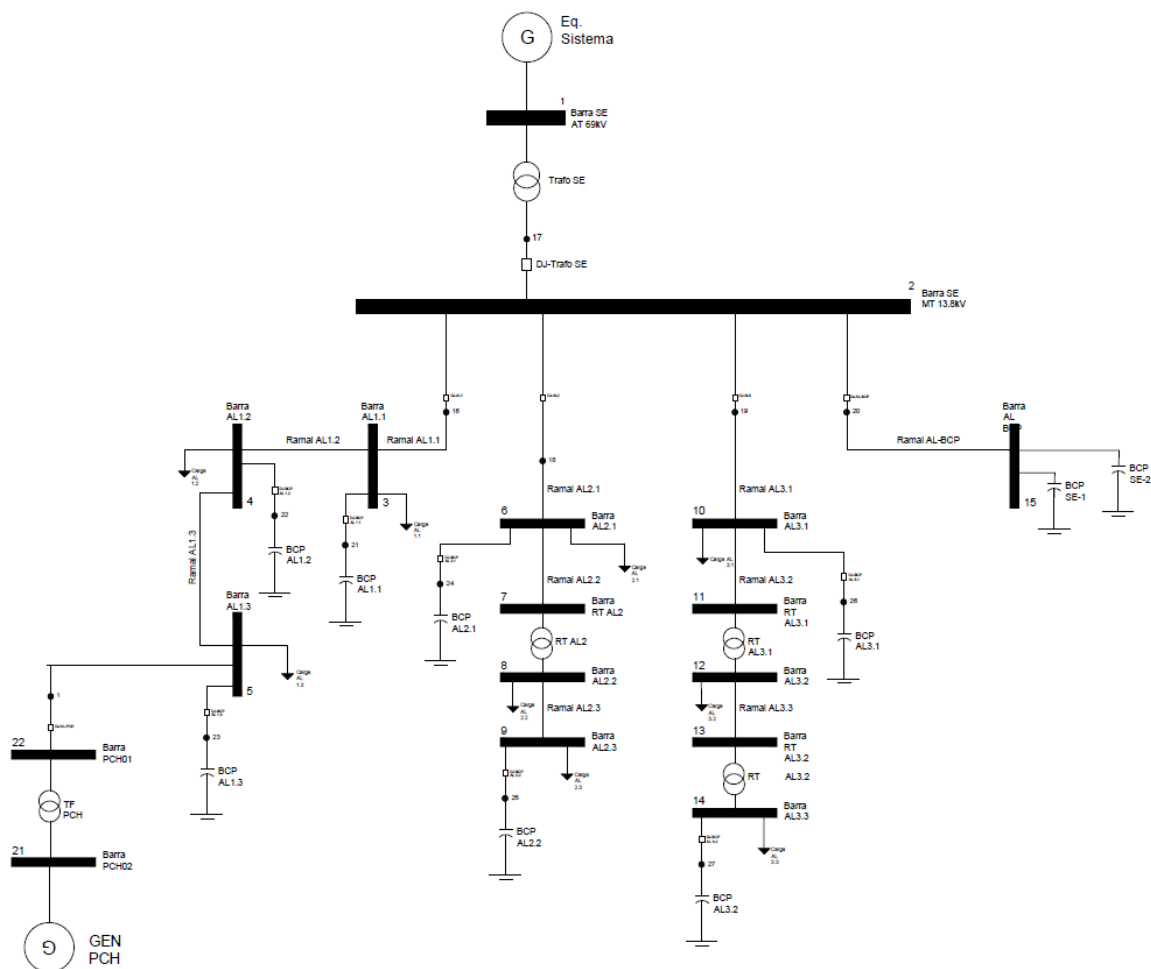


Figura 2. Diagrama unifilar do sistema teste Rural [cortesia – aluna Blenda Moreira]

Nas tabelas a seguir estão descritas as características técnicas, os parâmetros dos componentes e os modelos utilizados para simulação do sistema Rural.

Tabela 6 Parâmetros do sistema externo equivalente de 69kV

Vn (kV)	69,0
Sn (MVA)	50,0
X " (p.u.) / X/R	0,10 / 10
X2 (p.u.) / X/R	0,10 / 10
X0 (p.u.) / X/R	0,30 / 10

Nota: Valores em p.u. indicados na base do sistema.

Tabela 7 – Características técnicas dos transformadores

Descrição	Trafo-SE	Reguladores de Tensão	TF-PCH
Sn (MVA)	12,5 / 15,0	5,23	3,0 / 3,5
Vn primário (kV)	69,0	13,8	2,4
Vn secundário (kV)	13,8	13,8	13,8
Ligação	delta/estrela	autotrafo	delta/estrela
Impedância (% / X/R)	8,0 / 18,0	1,5 / 12,8	5,0 / 11,0
OLTC	não	não	não
Faixa de ajuste	± 10%	± 10%	-
Taps (qdade / %)	± 16 / 0,625%	± 16 / 0,625%	-

Notas:

- 1) O enrolamento delta do transformador elevador do produtor independente fica do lado da rede externa.
- 2) As impedâncias dos transformadores, quando com dois estágios de ventilação, estão referidas ao estágio inicial (menor potência).
- 3) Na prática os Trafo da SE e o RT são OLTC, entretanto, no arquivo estão modelados como transformadores com tape variável manualmente.

Tabela 8 – Características técnicas dos bancos de capacitores

Descrição	BCP-SE	BCP-AL1-1 BCP-AL1-2 BCP-AL1-3	BCP-AL2-1 BCP-AL2-2	BCP-AL3-1 BCP-AL3-2
Qn (kvar)	2 x 2.400	1.200	600	600
Vn (kV)	13,8	13,8	13,8	13,8
Ligação	estrela isolada	estrela isolada	estrela isolada	estrela isolada
Controle automático	Não	sim	sim	sim
Tipo de controle	manual	por horário	por horário	por horário
Tempo (s)	-	-	-	-

Tabela 9 – Características técnicas dos alimentadores

Descrição	AL-1	AL-2	AL-3
Comprimento total do alimentador (km)	12,0	15,0	18,0
Trecho 1			
Cabo	4/0 CA	4/0 CA	4/0 CA
Limite térmico (A)	380	380	380
Comprimento (km)	3,0	5,0	6,0

Parâmetros (Ω/km)			
Rpos.	0,3021	0,3021	0,3021
Xpos	0,4091	0,4091	0,4091
Rzero	0,4799	0,4799	0,4799
Xzero	1,9157	1,9157	1,9157
Trechos 2 e 3			
Cabo	1/0 CA	1/0 CA	1/0 CA
Limite térmico (A)	242	242	242
Comprimento (km)	3,0	5,0	6,0
Parâmetros (Ω/km)			
Rpos.	0,6047	0,6047	0,6047
Xpos	0,4338	0,4338	0,4338
Rzero	0,7825	0,7825	0,7825
Xzero	1,9404	1,9404	1,9404

2 Referências Bibliográficas

- [1] G. N. TARANTO, D. M. FALCÃO, T. M. L. ASSIS, ET AL., “PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE MICRORREDES FORMADAS PELO ELEVADO GRAU DE PENETRAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (GD): ANÁLISE ESTÁTICA E DINÂMICA”, RELATÓRIO 3, *PROJETO DE P&D COM A AMPLA*, JULHO 2011.
- [2] G. N. TARANTO, D. M. FALCÃO, T. M. L. ASSIS, ET AL., “PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DE MICRORREDES FORMADAS PELA PRESENÇA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA”, *ANAIS DO VII CITENEL*, RIO DE JANEIRO, RJ, AGOSTO 2013.