

---

# ANEXO

## Problema da compensação de energia reactiva em redes de distribuição

---

### 1. Modelo matemático

O problema da compensação de energia reactiva consiste em determinar o número, a localização e a dimensão dos condensadores *shunt* a instalar, neste caso numa rede radial, de forma a reduzir as perdas do sistema e melhorar o perfil de tensões. No entanto, é necessário um equilíbrio entre os custos (associados à instalação de novos condensadores) e os aspectos de avaliação técnica e de qualidade de serviço.

O modelo matemático usado neste trabalho, que foi desenvolvido por Pires et al. (2005), assume explicitamente a natureza multi-objectivo do problema, considerando duas funções objectivo: minimização das perdas (resistivas) e minimização dos custos de instalação de novas fontes de potência reactiva. Os requisitos de qualidade de serviço de um perfil de tensões aceitável nos barramentos são incluídos como restrições que resultam da legislação.

A terminologia usada na definição do modelo é a seguinte:

- SE sub-estação
  - m índice de barramento (nó) de ramo lateral
  - n índice de alimentador (ramo) lateral
  - k índice de barramento do alimentador principal
  - L índice de variável do tipo carga
-

- C índice de variável do tipo compensação
- F índice de variável de um tipo de condensador padrão
- $c_j$  custo do condensador de capacidade  $Q_{F_j}$
- $P_{L_{nm}}^k$  carga (potência real) no barramento  $m$  (do lateral  $n$ , derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $Q_{L_{nm}}^k$  carga (potência reactiva) no barramento  $m$  (do lateral  $n$ , derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $P_{nm}^k$  potência real que flui no ramo  $m$ ; isto é, passa do barramento  $m$  para o  $m+1$  (lateral  $n$ , derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $Q_{nm}^k$  potência reactiva que flui no ramo  $m$ ; isto é, passa do barramento  $m$  para o  $m+1$  (lateral  $n$ , derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $Q_{C_{nm}}^k$  potência reactiva injectada desde o condensador  $Q_C$  localizado no barramento  $m$  (lateral  $n$ , derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $B_{nm}^k$  barramento  $m$  do lateral  $n$  (lateral  $n$  derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $V_{nm}^k$  tensão no barramento  $m$  (lateral  $n$  derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $T_{nm}^k$  ramo  $m$  do lateral  $n$  (lateral  $n$  derivado do barramento  $k$  do alimentador principal); este ramo liga o barramento  $B_{nm}^k$  ao  $B_{n(m+1)}^k$
- $Q_{F_j}$  capacidade do condensador padrão  $j$
- $M_n^k$  número de barramentos do lateral  $n$  (lateral  $n$  derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $N^k$  número de laterais que derivam do barramento  $k$  do alimentador principal
- $K$  número de barramentos do alimentador principal
- $Y$  número de condensadores considerados para instalação
- $r_{nm}^k$  resistência do troço  $m$  do lateral  $n$  (lateral  $n$  derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $x_{nm}^k$  indutância do troço  $m$  do lateral  $n$  (lateral  $n$  derivado do barramento  $k$  do alimentador principal)
- $b_{nm}^k = \begin{cases} 1, & \text{se é possível instalar um condensador em } B_{nm}^k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$

O conjunto de equações recursivas (1-5) descreve os requisitos físicos associados ao fluxo de potência em cada ramo num sistema de distribuição radial.

O cálculo do fluxo de carga impõe uma significativa carga computacional na avaliação do mérito de cada solução. O procedimento usado para este fim (equações recursivas 1-5) foi adaptado às redes radiais, tal como as usadas no sistema de distribuição eléctrica portuguesa (ver Baran e Wu (1989-a), Baran e Wu (1989-b), Das et al. (1994) e Pires et al. (2005)).

$$P_{n(i+1)}^k = P_{ni}^k - r_{ni}^k \frac{(P_{ni}^k)^2 + (Q_{ni}^k)^2}{(V_{ni}^k)^2} - P_{L_{n(i+1)}}^k, \quad \forall n \neq 0 \text{ e } k \neq 0 \quad (1)$$

$$P_{0(i+1)}^0 = P_{0i}^0 - r_{0i}^0 \frac{(P_{0i}^0)^2 + (Q_{0i}^0)^2}{(V_{0i}^0)^2} - P_{L_{0(i+1)}}^0 - \sum_{n=1}^{N^{i+1}} P_{n0}^{(i+1)} \quad (2)$$

$$Q_{n(i+1)}^k = Q_{ni}^k - x_{ni}^k \frac{(P_{ni}^k)^2 + (Q_{ni}^k)^2}{(V_{ni}^k)^2} - Q_{L_{n(i+1)}}^k + Q_{C_{n(i+1)}}^k, \quad \forall n \neq 0 \text{ e } k \neq 0 \quad (3)$$

$$Q_{0(i+1)}^0 = Q_{0i}^0 - x_{0i}^0 \frac{(P_{0i}^0)^2 + (Q_{0i}^0)^2}{(V_{0i}^0)^2} - Q_{L_{0(i+1)}}^0 - \sum_{n=1}^{N^{i+1}} Q_{n0}^{(i+1)} + Q_{C_{0(i+1)}}^0 \quad (4)$$

$$(V_{n(i+1)}^k)^2 = (V_{ni}^k)^2 - 2 (r_{ni}^k P_{ni}^k + x_{ni}^k Q_{ni}^k) + ((r_{ni}^k)^2 + (x_{ni}^k)^2) \frac{(P_{ni}^k)^2 + (Q_{ni}^k)^2}{(V_{ni}^k)^2} \quad (5)$$

O alimentador principal tem índice o  $n = 0$ , isto é, é considerado como lateral 0, e  $k = 0$ , isto é, começa na subestação (SE). Além das equações de fluxo de potência, existem outras condições a serem satisfeitas por cada lateral (incluindo o alimentador). A partir do último barramento (nó) de cada ramo, não existe potência (real ou reactiva) a fluir para outros ramos:

$$P_{nm}^k = Q_{nm}^k = 0 \quad (6)$$

Consideram-se duas funções objectivo, relacionadas com a minimização das perdas resistivas da rede (7) e com a minimização dos custos associados com a instalação dos condensadores (8).

$$\text{Min} \sum_{k=0}^K \sum_{n=0}^{N^k} \sum_{m=0}^{M_n^k} r_{ni}^k \frac{(P_{ni}^k)^2 + (Q_{ni}^k)^2}{(V_{ni}^k)^2} \quad (7)$$

$$\text{Min} \sum_{k=0}^K \sum_{n=0}^{N^k} \sum_{m=0}^{M_n^k} \sum_{j=1}^Y (j a_{nm}^k c_j) \quad (8)$$

Os novos condensadores caracterizam-se pelas suas capacidades e pelo seu custo de instalação. Consideram-se unidades padrão, pois são as que geralmente são usadas nos sistemas de distribuição.  $c_j$  é o custo do condensador de capacidade  $Q_{F_j}$  ( $j = 1, \dots, Y$ ) e,

$$j_{a_{nm}}^k = \begin{cases} 1, & \text{se é instalado um condensador de capacidade } Q_{F_j} \text{ em } B_{nm}^k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (9)$$

$$Q_{C_{nm}}^k = b_{nm}^k \sum_{j=1}^Y (j_{a_{nm}}^k Q_{F_j}), \quad \forall m, n, k \quad (10)$$

As restrições (1-6), equações de fluxo de carga, são de natureza física. As restrições (11) impõem que pode ser colocado, no máximo, um condensador em  $B_{nm}^k$ .

$$\sum_{j=1}^Y (j_{a_{nm}}^k), \quad \forall m, n, k \quad (11)$$

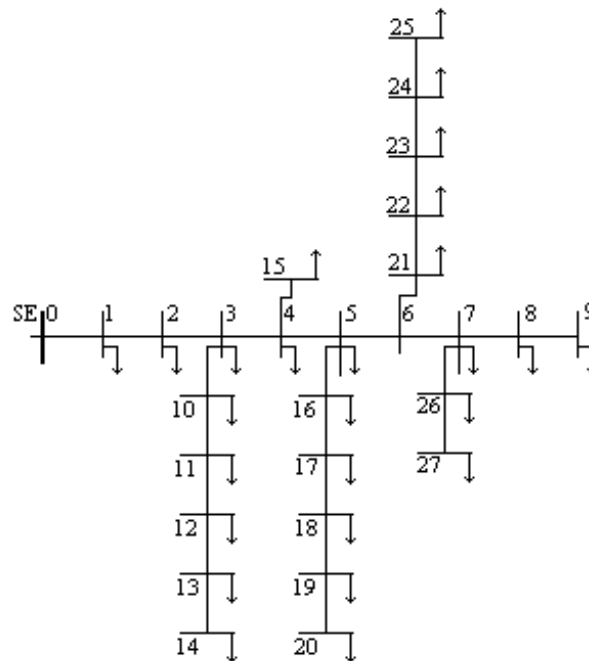
As restrições (12) estão relacionadas com a qualidade de serviço, e correspondem aos limites inferiores e superiores da intensidade da tensão nos nós da rede.

$$(V_{nm}^k)_{\min} \leq V_{nm}^k \leq (V_{nm}^k)_{\max} \quad (12)$$

O problema multi-objectivo aqui formulado é não linear e envolve variáveis discretas e contínuas.

## 2. Redes radiais

Uma rede de distribuição radial pode ser representada pela estrutura apresentada na Figura 1. O início da rede encontra-se na subestação (SE), a qual é também o início do alimentador principal. Ao longo deste alimentador há pontos de derivação (nós ou barramentos), nos quais se podem encontrar cargas activas e reactivas alimentadas directamente, ramos laterais, postos de transformação e elementos de controlo da potência reactiva. Estes últimos caracterizam-se por fornecerem energia reactiva à rede (através de condensadores, por exemplo) ou por consumirem energia reactiva da rede (caso das indutâncias). Os ramos laterais têm a mesma estrutura do alimentador principal, mas com algumas alterações devido à sua menor dimensão.



**Figura 1:** Exemplo de um sistema de distribuição radial.

### 3. Definição do cenário de carga

Para se definir a compensação de energia reactiva para uma rede de distribuição, é necessário determinar o cenário de carga para o qual vão ser dimensionadas e colocadas as baterias de condensadores. Para a rede portuguesa, não se consideraram como cenários de estudo, nem a ocorrência simultânea de pontas, nem situações intermédias arbitrariamente caracterizadas por uma fracção da ponta igual em todos os nós de carga. Procurou-se, sim, estabelecer para os diversos nós da rede valores de fracção da ponta diferentes uns dos outros, na proximidade das condições de carga mais severas da rede. Não sendo possível obter o diagrama de carga para esta rede, devido à dificuldade de dispor de diagramas de carga típicos de todos os nós e fazer uma análise repetida ao longo de um dia, com um intervalo de tempo de, por exemplo 1 hora, estabeleceu-se o seguinte processo (Pires (2001)):

- 1) considerou-se um intervalo de tempo, entre as 9 horas e as 12 horas, durante o qual se supõe que todas as pontas ocorrem;
- 2) considerou-se uma curva aproximativa da zona da ponta de um diagrama de carga, com uma duração superior ao intervalo considerado;
- 3) considerou-se uma distribuição aleatória dos instantes de ocorrência das pontas (numa determinada hora, em alguns postos de transformação estará a ocorrer a ponta, outros terão apenas uma percentagem da carga máxima);

- 4) com os dados obtidos traçou-se a ponta de um diagrama de carga, entre as 9 horas e as 12 horas, a partir do qual é possível obter vários cenários de carga da rede.

Para realizar o ponto 3, considerou-se uma função que distribui aleatoriamente as pontas dos 94 postos de transformação da rede eléctrica de EDP-Distribuição, ao longo do intervalo 9-12 horas.

Com este procedimento obteve-se um conjunto de situações que se aproxima mais das condições de ponta da rede, sem ter que se considerar a ocorrência simultânea de pontas em todos os postos de transformação (situação pouco provável e que facilmente poderia conduzir a solução para uma situação de sobrecompensação). Desta forma, adoptou-se a situação de carga correspondente às 11 horas para fazer a colocação das baterias na rede, já que foi quando se obteve a maior percentagem de carga no período 9-12 horas (ver Pires (2001)).

## **4. Características das redes usadas**

Neste anexo apresentam-se os dados associados às redes eléctricas que serviram para testar as metodologias propostas neste trabalho.

Inicialmente apresentam-se as tabelas com os dados de cada uma das redes usadas para testar a metodologia apresentada e dos condensadores que poderão ser instalados, a qual também se encontra em Pires (2001).

Depois, apresentam-se os dados referentes às perdas activas e reactivas nos troços, e o perfil de tensões em cada nó, quando as redes são consideradas sem compensação (isto é, sem qualquer condensador instalado), os quais foram determinados com as ferramentas construídas como suporte da metodologia proposta neste trabalho.

### **4.1. Rede portuguesa**

Nesta secção apresentam-se os dados referentes às características das entidades associadas à rede (troços e nós) portuguesa, assim como os resultados obtidos com o cálculo do trânsito de potência nas redes sem compensação. Nesta rede, a tensão da subestação (nó 0) é de 15.75 MVar. De referir ainda que é possível instalar condensadores em todos os nós da rede, com excepção do nó 0 (subestação).

Troço	Origem	Destino	Resistência (Ohm)	Reactância (Ohm)	Troço	Origem	Destino	Resistência (Ohm)	Reactância (Ohm)
0	0	1	0.112	0.1873	38	38	39	1.8	0.474
1	1	2	0.0763	0.1274	39	39	40	0.5177	0.2892
2	2	3	0.1891	0.3161	40	40	41	0.7148	0.3992
3	3	4	0.2243	0.3749	41	7	42	1.0575	0.2785
4	4	5	0.2571	0.4297	42	42	43	0.5198	0.2903
5	5	6	0.134	0.2239	43	43	44	0.3341	0.1866
6	6	7	0.2986	0.4991	44	8	45	0.349	0.1949
7	7	8	0.1953	0.3265	45	9	46	0.5771	0.3223
8	8	9	0.5097	0.8519	46	46	47	0.3598	0.2009
9	9	10	1.5303	1.5101	47	47	48	0.7688	0.4294
10	10	11	0.1889	0.1864	48	48	49	0.2599	0.1451
11	11	12	0.1816	0.1793	49	49	50	0.8654	0.4833
12	12	13	0.0661	0.0653	50	9	51	0.5248	0.5179
13	13	14	0.4115	0.4061	51	51	52	0.1737	0.1714
14	14	15	0.2584	0.255	52	52	53	0.6148	0.6068
15	15	16	0.2033	0.2006	53	53	54	0.198	0.1954
16	16	17	0.7243	0.7148	54	54	55	0.198	0.1954
17	17	18	0.2162	0.2134	55	55	56	0.285	0.2813
18	18	19	0.35	0.3454	56	56	57	0.1429	0.141
19	19	20	1.4775	0.3891	57	57	58	0.3409	0.1904
20	20	21	0.45	0.1185	58	58	59	0.3679	0.2055
21	21	22	0.771	0.203	59	59	60	0.3591	0.2006
22	22	23	0.885	0.2331	60	60	61	0.3503	0.1957
23	23	24	0.9915	0.2611	61	61	62	0.4219	0.2356
24	24	25	0.384	0.1011	62	62	63	1.538	0.5517
25	25	26	0.7245	0.1908	63	63	64	0.9788	0.3511
26	26	27	1.185	0.3121	64	64	65	1.4911	0.5349
27	27	28	1.2353	0.6899	65	10	66	0.969	0.2552
28	28	29	0.3557	0.1987	66	66	67	0.6705	0.1766
29	29	30	0.9494	0.3406	67	11	68	0.4354	0.2432
30	30	31	0.6899	0.3853	68	12	69	0.4631	0.2586
31	31	32	1.5707	0.8773	69	69	70	0.2707	0.1512
32	4	33	1.2655	0.454	70	14	71	0.6683	0.3732
33	4	34	0.1688	0.0943	71	71	72	0.8525	0.4762
34	34	35	0.2741	0.1531	72	15	73	0.3314	0.1851
35	35	36	0.2552	0.1425	73	17	74	0.405	0.2262
36	5	37	0.4165	0.2326	74	18	75	0.4367	0.2439
37	5	38	1.4835	0.3907	75	18	76	0.3416	0.1908
76	76	77	0.2113	0.118	85	21	86	0.7675	0.4286
77	77	78	1.1249	0.4035	86	23	87	1.5914	0.5709
78	78	79	1.1738	0.6556	87	24	88	0.702	0.3921
79	79	80	0.619	0.3457	88	24	89	2.0743	0.7441
80	80	81	0.5684	0.3174	89	89	90	0.678	0.2432
81	19	82	0.8393	0.3011	90	90	91	0.5738	0.3205
82	82	83	0.2133	0.1191	91	26	92	0.5913	0.3303
83	83	84	0.3645	0.2036	92	27	93	1.1865	0.3124
84	84	85	0.3206	0.1791					

Tabela 3: Características dos troços da rede portuguesa.

Nó	Potência activa (MW)	Potência reactiva (MVA <sub>r</sub> )	Nó	Potência activa (MW)	Potência reactiva (MVA <sub>r</sub> )
0	0	0	47	0.0369	0.0179
1	0.0225	0.0109	48	0.0639	0.031
2	0.2403	0.1164	49	0.0684	0.0331
3	0.0243	0.0118	50	0.0279	0.0135
4	0	0	51	0.081	0.0392
5	0	0	52	0.0693	0.0336
6	0.0288	0.014	53	0.0621	0.0301
7	0	0	54	0.0351	0.017
8	0	0	55	0.2052	0.0994
9	0	0	56	0.0315	0.0153
10	0	0	57	0.5211	0.2524
11	0	0	58	0.2124	0.1029
12	0	0	59	0.0396	0.0192
13	0.0576	0.0279	60	0.045	0.0218
14	0	0	61	0.0171	0.0083
15	0	0	62	0.0216	0.0105
16	0.0189	0.0092	63	0.0351	0.017
17	0	0	64	0.0702	0.034
18	0	0	65	0.0342	0.0166
19	0.0558	0.027	66	0.0225	0.0109
20	0.0405	0.0196	67	0.0459	0.0222
21	0	0	68	0.0333	0.0161
22	0.054	0.0262	69	0.0369	0.0179
23	0	0	70	0.045	0.0218
24	0	0	71	0.0756	0.0366
25	0.0468	0.0227	72	0.0675	0.0327
26	0	0	73	0.0279	0.0135
27	0	0	74	0.0387	0.0187
28	0.0135	0.0065	75	0.0531	0.0257
29	0.0036	0.0017	76	0.0657	0.0318
30	0.018	0.0087	77	0.063	0.0305
31	0.0216	0.0105	78	0.0675	0.0327
32	0.009	0.0044	79	0.045	0.0218
33	0.0648	0.0314	80	0.009	0.0044
34	0.0657	0.0318	81	0.0162	0.0078
35	0.0594	0.0288	82	0.0675	0.0327
36	0.0135	0.0065	83	0.2961	0.1434
37	0.1611	0.078	84	0.072	0.0349
38	0.0261	0.0126	85	0.0765	0.0371
39	0.1341	0.065	86	0.0909	0.044
40	0.0855	0.0414	87	0.072	0.0349
41	0.0414	0.0201	88	0.063	0.0305
42	0.0414	0.0201	89	0.0216	0.0105
43	0.0414	0.0201	90	0.0369	0.0179
44	0.0216	0.0105	91	0.0207	0.01
45	0.0252	0.0122	92	0.0171	0.0083
46	0.0459	0.0222	93	0.09	0.0436

Tabela 4: Potências tomadas, activa e reactiva, nos nós da rede portuguesa.



Alimentador	Nó fonte	Nó a seguir ao fonte	Último nó
0	0	1	32
1	4	33	33
2	4	34	36
3	5	37	37
4	5	38	41
5	7	42	44
6	8	45	45
7	9	46	50
8	9	51	65
9	10	66	67
10	11	68	68
11	12	69	70
12	14	71	72
13	15	73	73
14	17	74	74
15	18	75	75
16	18	76	81
17	19	82	85
18	21	86	86
19	23	87	87
20	24	88	88
21	24	89	91
22	26	92	92
23	27	93	93

Tabela 5: Caracterização dos alimentadores da rede portuguesa.

Capacidade (MVar)	Custo
0.030	168
0.060	245
0.075	289

Tabela 6: Caracterização dos condensadores a instalar na rede portuguesa.

Troço	Potência activa (MW)	Potência reactiva (MVA <sub>r</sub> )	Troço	Potência activa (MW)	Potência reactiva (MVA <sub>r</sub> )
0	0.015287	0.025564	47	0.000113	0.000063
1	0.010324	0.017239	48	0.000014	0.000008
2	0.023266	0.038891	49	0.000004	0.000002
3	0.027318	0.045660	50	0.006804	0.006714
4	0.028729	0.048016	51	0.002015	0.001989
5	0.012188	0.020365	52	0.006451	0.006367
6	0.026775	0.044753	53	0.001889	0.001865
7	0.016620	0.027784	54	0.001787	0.001763
8	0.042788	0.071515	55	0.001789	0.001766
9	0.038222	0.037717	56	0.000843	0.000832
10	0.004408	0.004350	57	0.000459	0.000256
11	0.004096	0.004044	58	0.000152	0.000085
12	0.001367	0.001351	59	0.000107	0.000060
13	0.007991	0.007886	60	0.000067	0.000037
14	0.004245	0.004189	61	0.000066	0.000037
15	0.003227	0.003184	62	0.000179	0.000064
16	0.011226	0.011079	63	0.000064	0.000023
17	0.003188	0.003147	64	0.000010	0.000004
18	0.003229	0.003187	65	0.000027	0.000007
19	0.003815	0.001005	66	0.000008	0.000002
20	0.001018	0.000268	67	0.000003	0.000002
21	0.001251	0.000329	68	0.000019	0.000010
22	0.001143	0.000301	69	0.000003	0.000002
23	0.000901	0.000237	70	0.000084	0.000047
24	0.000134	0.000035	71	0.000024	0.000013
25	0.000160	0.000042	72	0.000002	0.000001
26	0.000216	0.000057	73	0.000004	0.000002
27	0.000048	0.000027	74	0.000008	0.000004
28	0.000009	0.000005	75	0.000153	0.000086
29	0.000022	0.000008	76	0.000054	0.000030
30	0.000008	0.000004	77	0.000135	0.000048
31	0.000004	0.000002	78	0.000037	0.000020
32	0.000028	0.000010	79	0.000002	0.000001
33	0.000017	0.000009	80	0.000001	0.000001
34	0.000008	0.000004	81	0.001404	0.000504
35	0.000000	0.000000	82	0.000269	0.000150
36	0.000057	0.000032	83	0.000051	0.000029
37	0.000654	0.000172	84	0.000012	0.000007
38	0.000657	0.000173	85	0.000041	0.000023
39	0.000045	0.000025	86	0.000054	0.000019
40	0.000007	0.000004	87	0.000018	0.000010
41	0.000063	0.000017	88	0.000085	0.000031
42	0.000011	0.000006	89	0.000015	0.000005
43	0.000001	0.000000	90	0.000002	0.000001
44	0.000001	0.000001	91	0.000001	0.000001
45	0.000195	0.000109	92	0.000063	0.000017
46	0.000080	0.000045			

Tabela 7: Perdas activa e resistiva nos troços da rede portuguesa sem compensação.

Perdas totais	Valor
Activas	0.3204378
Reactivas	0.4458570

Tabela 8: Perdas totais na rede portuguesa sem compensação.

Nó	Tensão (p.u.)	Nó	Tensão (p.u.)	Nó	Tensão (p.u.)
0	1.000000	32	0.870410	64	0.911813
1	0.995628	33	0.977110	65	0.911549
2	0.992662	34	0.977384	66	0.913675
3	0.985693	35	0.977280	67	0.913522
4	0.977507	36	0.977262	68	0.911486
5	0.968552	37	0.968197	69	0.909050
6	0.964315	38	0.966548	70	0.908982
7	0.955034	39	0.964338	71	0.903091
8	0.949108	40	0.963989	72	0.902765
9	0.934028	41	0.963832	73	0.900787
10	0.914005	42	0.954509	74	0.891035
11	0.911568	43	0.954333	75	0.888779
12	0.909264	44	0.954294	76	0.888387
13	0.908459	45	0.949061	77	0.888143
14	0.903633	46	0.933259	78	0.887317
15	0.900840	47	0.932869	79	0.886842
16	0.898679	48	0.932193	80	0.886752
17	0.891125	49	0.932055	81	0.886698
18	0.888912	50	0.931923	82	0.883785
19	0.886081	51	0.929003	83	0.883235
20	0.881274	52	0.927424	84	0.882921
21	0.879897	53	0.922133	85	0.882779
22	0.877903	54	0.920502	86	0.879491
23	0.875860	55	0.918916	87	0.875241
24	0.873941	56	0.917012	88	0.873682
25	0.873481	57	0.916086	89	0.873052
26	0.872789	58	0.915179	90	0.872840
27	0.871762	59	0.914637	91	0.872770
28	0.871205	60	0.914187	92	0.872729
29	0.871072	61	0.913837	93	0.871206
30	0.870766	62	0.913455		
31	0.870596	63	0.912343		

Tabela 9: Tensão nos nós da rede portuguesa sem compensação.

## 4.2. Rede indiana

Nesta secção apresentam-se os dados referentes às características das entidades associadas à rede (troços e nós) indiana, cuja tensão da subestação (nó 0) é de 11.00 MVar. De referir ainda que é possível instalar condensadores em todos os nós da rede, com excepção no nó 0 (subestação).

Troço	Origem	Destino	Resistência (Ohm)	Reactância (Ohm)	Troço	Origem	Destino	Resistência (Ohm)	Reactância (Ohm)
0	0	1	1.197	0.82	14	4	15	2.55	1.058
1	1	2	1.796	1.231	15	5	16	1.366	0.567
2	2	3	1.306	0.895	16	16	17	0.819	0.34
3	3	4	1.851	1.268	17	17	18	1.548	0.642
4	4	5	1.524	1.044	18	18	19	1.366	0.567
5	5	6	1.905	1.305	19	19	20	3.552	1.474
6	6	7	1.197	0.82	20	6	21	1.548	0.642
7	7	8	0.653	0.447	21	21	22	1.092	0.453
8	8	9	1.143	0.783	22	22	23	0.91	0.378
9	3	10	2.823	1.172	23	23	24	0.455	0.189
10	10	11	1.184	0.491	24	24	25	0.364	0.151
11	11	12	1.002	0.416	25	7	26	0.546	0.226
12	12	13	0.455	0.189	26	26	27	0.273	0.113
13	13	14	0.546	0.227					

Tabela 10: Características dos troços da rede indiana.

Nó	Potência activa (MW)	Potência reactiva (MVAr)	Nó	Potência activa (MW)	Potência reactiva (MVAr)
0	0	0	14	0.03528	0.03528
1	0.03528	0.03528	15	0.03528	0.03528
2	0.014	0.014	16	0.00896	0.00896
3	0.03528	0.03528	17	0.00896	0.00896
4	0.014	0.014	18	0.03528	0.03528
5	0.03528	0.03528	19	0.03528	0.03528
6	0.03528	0.03528	20	0.014	0.014
7	0.03528	0.03528	21	0.03528	0.03528
8	0.014	0.014	22	0.00896	0.00896
9	0.014	0.014	23	0.056	0.056
10	0.056	0.056	24	0.00896	0.00896
11	0.03528	0.03528	25	0.03528	0.03528
12	0.03528	0.03528	26	0.03528	0.03528
13	0.014	0.014	27	0.03528	0.03528

Tabela 11: Potências tomadas, activa e resistiva, nos nós da rede indiana.

Alimentador	Nó fonte	Nó a seguir ao fonte	Último nó
0	0	1	9
1	3	10	14
2	4	15	15
3	5	16	20
4	6	21	25
5	7	26	27

Tabela 12: Caracterização dos alimentadores da rede indiana.

Capacidade (MVar)	Custo
0.025	77
0.030	168
0.060	245

Tabela 13: Caracterização dos condensadores a instalar na rede indiana.

Troço	Potência activa (MW)	Potência reactiva (MVar)	Troço	Potência activa (MW)	Potência reactiva (MVar)
0	0.013212	0.009051	14	0.000060	0.000025
1	0.018113	0.012415	15	0.000277	0.000115
2	0.012682	0.008691	16	0.000138	0.000057
3	0.009075	0.006216	17	0.000214	0.000089
4	0.006100	0.004179	18	0.000064	0.000027
5	0.003716	0.002546	19	0.000013	0.000006
6	0.000433	0.000296	20	0.000637	0.000264
7	0.000011	0.000008	21	0.000257	0.000107
8	0.000006	0.000004	22	0.000181	0.000075
9	0.001613	0.000670	23	0.000018	0.000007
10	0.000315	0.000131	24	0.000009	0.000004
11	0.000133	0.000055	25	0.000053	0.000022
12	0.000020	0.000009	26	0.000007	0.000003
13	0.000013	0.000005			

Tabela 14: Perdas activa e resistiva nos troços da rede indiana sem compensação.

Perdas totais	Valor
Activas	0.067370
Reactivas	0.045075

Tabela 15: Perdas totais na rede indiana sem compensação.

Nó	Tensão (p.u.)	Nó	Tensão (p.u.)	Nó	Tensão (p.u.)
0	1.000000	10	0.947499	20	0.923551
1	0.986537	11	0.945747	21	0.917542
2	0.967353	12	0.944699	22	0.916021
3	0.953598	13	0.944421	23	0.914856
4	0.939753	14	0.944182	24	0.914598
5	0.929419	15	0.938634	25	0.914434
6	0.920390	16	0.927652	26	0.917439
7	0.917930	17	0.926684	27	0.917316
8	0.917632	18	0.925031		
9	0.917355	19	0.924180		

Tabela 16: Tensão nos nós da rede (indiana) sem compensação.